

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE  
MINAS**

**Titulación: INGENIERÍA TÉCNICA DE MINAS, ESPECIALIDAD  
EN RECURSOS ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y EXPLOSIVOS**

**DEPARTAMENTO DE SISTEMAS  
ENERGÉTICOS**

**ESCUELA TÉCNICA DE INGENIEROS DE  
MINAS**

**INSTALACIÓN DE SUELO  
RADIANTE Y ENERGÍA  
SOLAR TÉRMICA EN UNA  
VIVIENDA UNIFAMILIAR.**

**JAVIER GARCÍA SÁNCHEZ** **SEPTIEMBRE 2012**  
**TITULACIÓN: INGENIERO TÉCNICO DE MINAS** **PLAN: 2002**

Autorizo la presentación del  
proyecto

**INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE Y ENERGÍA SOLAR  
TÉRMICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

Realizado  
por

**JAVIER GARCÍA SÁNCHEZ**

Dirigido  
por

**Natalia E. Fonseca González**

Firmado: **Prof. Natalia E. Fonseca  
González**

Fecha: **SEPTIEMBRE 2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

Una vez que se va acabar esta etapa de mi vida, quedando apenas ya unos pocos días para la presentación de este proyecto, y después de haber pasado mucho tiempo y experiencias durante este periodo universitario, me gustaría darles las gracias a todas aquellas personas que me han ayudado a llegar hasta aquí, a las que aún siguen conmigo y también para aquellas que han participado en esta etapa aunque lamentablemente ahora no se encuentren presente, muchísimas gracias a todas por su apoyo porque seguramente, yo no podría haber llegado hasta este punto y no habría conseguido los objetivos que tenía en mente el día que entre en la Escuela de Minas.

Me gustaría agradecerles de todo corazón, a todos aquellos profesores que se han esforzado por enseñarme y que aprendiera a lo largo de la carrera, pedirles perdón por aquellos momentos en los que no me haya esforzado como debería. Además me gustaría animarles para que sigan esforzándose día a día en su trabajo, uno de los más bonitos que puede haber, para formar ingenieros y también personas, porque los valores es también una parte muy importante como profesional.

A mi tutora Natalia y las personas del Departamento de Sistemas Energéticos por la paciencia mostrada conmigo, me gustaría darles las gracias por su esfuerzo para que este proyecto al final haya llegado a hacerse realidad y que me disculpéis por todas las molestias que os haya causado.

A mis compañeros de la escuela, gracias por vuestro apoyo a lo largo de todo este tiempo, porque gracias a vuestra ayuda, ánimo y confianza, he conseguido superar todos aquellos malos momentos en la carrera, gracias por echarme una mano de manera generosa cuando las cosas no iban tan bien, ha sido maravilloso teneros de mi parte.

A Ana; a mis padres, Ricardo y María; a mi hermano, Ricardo, y a toda mi familia, actual y pasada, gracias por todo vuestro apoyo, tanto material como emocional, vuestra paciencia y comprensión, vuestros ánimos y cariño, infinitas gracias por todo, porque podría seguir escribiendo líneas y líneas y aun así me quedaría escaso, porque vosotros sois los que me habéis visto en mis mejores momentos y también en mis peores momentos, ayudándome sin yo perderlo, en todos ellos, muchísimas gracias porque sin vosotros no sería la persona que soy, ni tampoco tendría los logros que tengo, os debo mucho así que espero poder recompensaros en el futuro como os merecéis, gracias de todo corazón y lo siento por todos los disgustos y decepciones que os haya causado durante este tiempo.

# ÍNDICE

<b><u>RESUMEN</u></b>	XIII
<b><u>ABSTRACT</u></b>	XIII
- <b><u>DOCUMENTO N° 1: MEMORIA</u></b>	Página 14
<b>1. <u>OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO</u></b>	Página 15
1.1. Alcance	Página 15
1.2. Objetivos	Página 15
1.3. Datos de partida	Página 16
<b>2. <u>ANTECEDENTES</u></b>	Página 18
2.1. Emplazamiento de la vivienda	Página 18
2.2. Características de la casa	Página 19
2.3. Condiciones climáticas de la zona	Página 21
<b>3. <u>INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA</u></b>	Página 24
3.1. Clasificación de las instalaciones solares térmicas	Página 24
3.2. Captadores de baja temperatura	Página 25
3.3. Captadores de media - alta temperatura	Página 26
3.4. Captadores de baja temperatura	Página 27
3.5. Descripción de los diferentes tipos de captadores de baja temperatura	Página 28
3.6. Tipos de instalaciones	Página 30
<b>4. <u>DESCRIPCIÓN DE INSTALACIÓN Y ELEMENTOS</u></b>	Página 35
4.1. Colector solar	Página 35
4.2. Efecto invernadero	Página 36
4.3. Funcionamiento de los colectores de placa plana	Página 38
4.3.1. Cubierta transparente	Página 39
4.3.2. Absorbedor	Página 41
4.3.3. Aislamiento posterior	Página 42
4.3.4. Carcasa	Página 42

4.3.5. Acumulador solar	Página 43
4.3.6. Fluido caloportador	Página 44
4.4. Electrocirculadores o bombas de circulación	Página 48
4.5. Tuberías	Página 49
4.6. Válvulas	Página 50
4.7. Vaso de expansión	Página 52
4.8. Los purgadores	Página 53
4.9. Sistema de control	Página 54
 5. <u>CALCULO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA</u>	Página 57
5.1. Cálculo de consumo de A.C.S.	Página 57
5.1.1. Datos de partida	Página 57
5.1.2. Condiciones de uso	Página 57
5.1.3. Datos de consumo de A.C.S.	Página 58
5.1.4. Número de personas en la vivienda	Página 60
5.1.5. Temperatura del agua de la red general en función de la provincia	Página 61
5.1.6. Cálculo de demanda energética mensual y anual para producir A.C.S	Página 62
5.2. Dimensionados paneles solares térmicos	Página 67
5.2.1. Condiciones climáticas	Página 67
5.2.2. Radiación horizontal recibida	Página 69
5.2.3. Factores correctores por inclinación, orientación y sombras	Página 70
5.2.4. Radiación inclinada recibida	Página 73
5.2.5. Método de cálculo F - Chart	Página 74
5.2.6. Cálculo del parámetro $D_1$	Página 76
5.2.7. Cálculo del parámetro $D_2$	Página 78
5.2.8. Fracción solar mensual	Página 80
5.2.9. Energía mensual captada por las placas solares	Página 80
5.2.10. Fracción solar anual	Página 81
5.2.11. Energía anual captada por las placas solares	Página 82
5.2.12. Rendimiento medio anual	Página 82

<b>5.3. Cumplimiento Normativa</b>	Página 84
<b>5.3.1. Límite máximo de la fracción solar obtenida</b>	Página 85
<b>5.3.2. Pérdidas por orientación, por inclinación y por sombras</b>	Página 86
<b>5.3.3. Cálculo de pérdidas por inclinación y orientación</b>	Página 88
<b>5.3.4. Pérdidas de radiación solar por sombras.</b>	Página 92
<b>5.3.5. Relación entre el volumen de acumulación y superficie de captación</b>	Página 94
 <b>6. <u>INSTALACIÓN SUELO RADIANTE</u></b>	Página 96
<b>6.1. Introducción</b>	Página 96
<b>6.2. Conducción.</b>	Página 96
<b>6.3. Convección.</b>	Página 99
<b>6.4. Radiación.</b>	Página 101
<b>6.5. Sensación de bienestar térmico. Condiciones de confort.</b>	Página 102
<b>6.6. Superficies radiantes y suelo radiante.</b>	Página 108
<b>6.7. Características del suelo radiante</b>	Página 110
<b>6.8. Causas del ahorro energético de una calefacción por suelo radiante.</b>	Página 112
<b>6.9. Aplicaciones del suelo radiante</b>	Página 114
<b>6.10. Características constructivas de un suelo radiante.</b>	Página 115
<b>6.11. Descripción de instalación y elementos.</b>	Página 118
<b>6.11.1. Tuberías plásticas</b>	Página 118
<b>6.11.2. Aislamientos</b>	Página 121
<b>6.11.3. Sistemas de fijación</b>	Página 123
<b>6.11.4. Banda perimetral</b>	Página 125
<b>6.11.5. El distribuidor</b>	Página 126
<b>6.11.6. Generadores de calor</b>	Página 128
<b>6.12. Formas básicas de distribución del tubo</b>	Página 128
<b>6.12.1. Distribución en serpentín simple</b>	Página 129
<b>6.12.2. Distribución en doble serpentín</b>	Página 130
<b>6.12.3. Distribución en espiral</b>	Página 131
<b>6.12.4. Variantes en el modo de distribución</b>	Página 132

<b>7. <u>CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DEL SUELO RADIANTE</u></b>	Página 136
<b>7.1. Coeficiente global de transmisión de calor para la vivienda</b>	Página 136
<b>7.2. Potencia térmica necesaria</b>	Página 139
<b>7.3. Potencia corregida</b>	Página 140
<b>8. <u>CONCLUSIONES Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</u></b>	Página 148
<b>9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u></b>	Página 151
<b>- <u>DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO ECONÓMICO</u></b>	Página 152
<b>1. Introducción</b>	Página 153
<b>2. Coste materiales suelo radiante</b>	Página 153
<b>3. Coste materiales placas solares para A.C.S.</b>	Página 154
<b>4. Coste caldera de gas</b>	Página 155
<b>5. Presupuesto estimado de toda la instalación</b>	Página 155
<b>6. Estudio placa solares para A.C.S.</b>	Página 156
<b>7. Método mediante combustión de gas</b>	Página 157
<b>8. Mediante placas solares para generación de A.C.S.</b>	Página 158
<b>9. Resultados y conclusiones</b>	Página 160
<b>- <u>DOCUMENTO N° 3: PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS</u></b>	Página 162
<b>1. Objeto y campo de aplicación</b>	Página 163
<b>2. Generalidades</b>	Página 163
<b>3. Protección contra heladas</b>	Página 164
<b>4. Sobrecalentamientos</b>	Página 166
<b>5. Otros sistemas de protección y prevención</b>	Página 167
<b>6. Criterios generales de diseño</b>	Página 168
<b>7. Diseño del sistema de captación</b>	Página 171
<b>8. Diseño del sistema de acumulación solar</b>	Página 174
<b>9. Diseño del circuito hidráulico</b>	Página 176
<b>10. Diseño del sistema de energía auxiliar</b>	Página 178
<b>11. Diseño del sistema eléctrico y de control</b>	Página 179
<b>12. Diseño del sistema de monitorización</b>	Página 180

<b>13. Componentes</b>	Página 181
<b>- <u>DOCUMENTO N° 4: ANEXOS</u></b>	Página 193
<b>1. Anexo A : Catálogo marca Ferroli de los elementos de la instalación solar</b>	Página 194
<b>2. Anexo B: Tablas de datos del C.T.E. Sección HE 4 y del P.C.T. del I.D.A.E.</b>	Página 200
<b>- <u>DOCUMENTOS N° 5: PLANOS</u></b>	Página 207
<b>1. Plano I:Alzado y perfil de la vivienda</b>	Página 208
<b>2. Plano II:Planos de la casa (1)</b>	Página 209
<b>3. Plano III: Planos de la casa (2)</b>	Página 210
<b>4. Plano IV: Planos de la casa (3)</b>	Página 211
<b>5. Plano V:Distribución del suelo radiante</b>	Página 212



# ÍNDICE TABLAS

Tabla 2.1: Distribución de las dependencias de la vivienda.	Página 19
Tabla 2.2: Superficie de la planta baja de la vivienda.	Página 19
Tabla 2.3: Superficie de la planta bajo – cubierta de la vivienda.	Página 21
Tabla 2.4: Superficie de la planta primera de la vivienda.	Página 21
Tabla 2.5: Datos climatológicos de la zona I.	Página 22
Tabla 2.6: Datos climatológicos de la zona II.	Página 23
Tabla 5.1: Relación entre el criterio de consumo y el consumo de A.C.S./día.	Página 60
Tabla 5.2: Relación entre el número de personas y el número de dormitorios que posea la vivienda.	Página 60
Tabla 5.3: Datos de temperatura del agua de la red general, en ° C, en la provincia de Salamanca.	Página 61
Tabla 5.4: Resumen de datos obtenidos en apartados anteriores.	Página 62
Tabla 5.5: Resultados obtenidos aplicando la expresión carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (I)	Página 64
Tabla 5.6: Resultados obtenidos aplicando la expresión carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (II)	Página 65
Tabla 5.7: Límites de zonas homogéneas en función de las exigencias de fracción solar mínima.	Página 68
Tabla 5.8: Valores de fracción mínima exigida para un sistema de apoyo de tipo general, en función de la demanda requerida de A.C.S.	Página 69
Tabla 5.9: Datos de radiación horizontal, en kJ/m <sup>2</sup> / día, en la provincia de Salamanca.	Página 70
Tabla 5.10: Factor corrector para una inclinación de 50 °, para una latitud de 41°	Página 72
Tabla 5.11: Tabla radiación horizontal, factores correctores, radiación inclinada.	Página 74
Tabla 5.12: Características técnicas propias del captador.	Página 77
Tabla 5.13: Datos de partida para el cálculo del parámetro D <sub>1</sub> .	Página 77
Tabla 5.14: Cálculo parámetro D <sub>1</sub> .	Página 78
Tabla 5.15: Datos de partida para calcular el parámetro D <sub>2</sub> .	Página 79

Tabla 5.16: Cálculo del parámetro $D_2$ .	Página 80
Tabla 5.17: Cálculo de la fracción solar mensual.	Página 80
Tabla 5.18: Cálculo de la energía mensual captadas por las placas solares.	Página 81
Tabla 5.19: Cálculos del rendimiento medio anual e irradiación incidente año.	Página 83
Tabla 5.20: Cálculos de irradiaciones incidentes mensuales.	Página 83
Tabla 5.21: Resumen fracción solar anual y energía anual captada.	Página 83
Tabla 5.22: Cálculo de la fracción solar mensual.	Página 86
Tabla 5.23: Perdidas por orientación, inclinación y sombras.	Página 87
Tabla 6.1: Condiciones interiores de diseño.	Página 107
Tabla 6.2: Algunas características físicas de las tuberías de plástico.	Página 120
Tabla 6.3: Características del aislante de poliestireno expandido.	Página 122
Tabla 7.1: Valores de los coeficientes y superficies para el cálculo de $K_G$ .	Página 138
Tabla 7.2: Valores límites de $K_G$ .	Página 139
Tabla 7.3: Datos de origen para el cálculo del factor de forma.	Página 139
Tabla 7.4: Valores de los coeficientes correctores de la potencia térmica por unidad de superficie.	Página 142
Tabla 7.5: Potencia corregida por unidad de superficie y potencia real de cada estancia de la vivienda.	Página 143
Tabla 7.6: Potencia corregida por unidad de superficie para cada estancia.	Página 144
Tabla 7.7: Temperatura máxima en régimen permanente máximas para cada superficie del suelo.	Página 146
Tabla 7.8: Características del modelo escogido de generador.	Página 147
Tabla 8.1: Coste de los materiales de la instalación del suelo radiante.	Página 153
Tabla 8.2: Coste de los materiales de la instalación solar térmica.	Página 155
Tabla 8.3: Coste del sistema de apoyo.	Página 155
Tabla 8.4: Presupuesto aproximado de toda la instalación.	Página 156
Tabla 8.5: Datos sobre consumo de energía para producción de A.C.S.	Página 157
Tabla 8.6: Características de la caldera de gas.	Página 157
Tabla 8.7: Tarifas de suministro de gas a particulares de la empresa Gas Natural S.A.	Página 158
Tabla 8.8: Resumen de datos obtenidos.	Página 161

# ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1: Ubicación con respecto a un mapa de la provincia.	Página 18
Figura 2.2: Ubicación con respecto al plano de la localidad.	Página 19
Figura 3.1: Esquema de la instalación solar térmica.	Página 25
Figura 3.2: Instalación solar térmica de circuito abierto.	Página 31
Figura 3.3: Instalación solar térmica de circuito cerrado.	Página 31
Figura 3.4: Instalación solar térmica de circulación natural.	Página 33
Figura 3.5: Instalación solar térmica de circulación forzada.	Página 34
Figura 4.1: Balance de las pérdidas y ganancias de la radiación solar incidente.	Página 37
Figura 4.2: Ilustración del efecto invernadero en un corte transversal de un colector.	Página 37
Figura 4.3: Corte transversal de un colector de placa plana sin concentración.	Página 39
Figura 4.4: Esquema componentes de un colector de placa plana.	Página 39
Figura 4.5: Estratificación del agua en el acumulador.	Página 43
Figura 4.6: Esquema estratificación en el acumulador solar.	Página 44
Figura 4.7 - Funcionamiento de un vaso de expansión cerrado.	Página 53
Figura 5.1 Carga calorífica calentamiento de A.C.S. (J/mes).	Página 64
Figura 5.2: Carga calorífica de calentamiento de A.C.S. (kWh/mes)	Página 65
Figura 5.3: Consumo mensual de A.C.S. (litros).	Página 65
Figura 5.4: Mapa de zonas climáticas según fracción solar mínima	Página 67
Figura 5.5: Factor de corrección por inclinación para una latitud de 41°.	Página 71
Figura 5.6: Orientación e inclinación de los paneles	Página 89
Figura 5.7: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.	Página 90
Figura 5.9: Cálculo de pérdidas por orientación e inclinación por método gráfico.	Página 92
Figura 6.1: Conducción a través de un sólido.	Página 97
Figura 6.2: Gradiente de temperatura a través de un cerramiento	Página 98
Figura 6.3: Intercambio convectivo entre una superficie y un fluido.	Página 100
Figura 6.4: Intercambio por convección natural entre el suelo, el techo, la pared y el aire del ambiente.	Página 100

Figura 6.5: Intercambio por radiación entre superficies. Se representa el sentido del flujo neto en función de la temperatura de cada superficie.	Página 102
Figura 6.6: Relación térmica de un individuo en un local.	Página 105
Figura 6.7: Diagrama de confort de ASHRAE.	Página 106
Figura 6.8: Distribución de temperaturas según la altura para distintos sistemas de calefacción.	Página 109
Figura 6.9: Gráficos de fluctuación de la velocidad del aire a la altura de la cabeza.	Página 111
Figura 6.10: Aislamiento en rollos con láminas auto adhesivas para solapar.	Página 117
Figura 6.11: Grapa – rosca y grapa para encajar en dos tetones.	Página 118
Figura 6.12: Algunos tipos de tira lateral o banda perimetral.	Página 122
Figura 6.13: Tubos colectores que incorporan válvulas de usuarios y detentor.	Página 123
Figura 6.14: Aislamiento base con tetones.	Página 124
Figura 6.15: Vaina o pasamuros.	Página 124
Figura 6.16: Corte en sección de un suelo radiante.	Página 125
Figura 6.17: Guías y grapas.	Página 125
Figura 6.18: Tubo encajado en aislamiento base con tetón.	Página 126
Figura 6.19: Distribución en doble serpentín.	Página 130
Figura 6.20: Distribución en serpentín simple.	Página 130
Figura 6.21: Distribución en espiral.	Página 131
Figura 6.22: Distribución mediante doble espiral	Página 133
Figura 6.23: Distribución con emparrillado de tubos.	Página 134
Figura 6.24: Espiral partida.	Página 135
Figura 7.1: Zonas climáticas de España según sus grados-día anuales.	Página 138
Figura 7.2: Factor de corrección cpv, según el tipo y el espesor del pavimento.	Página 142
Figura 7.3: Temperatura de la superficie del suelo en función de su emisividad térmica.	Página 146

## **RESUMEN**

El tema sobre el que trata este proyecto es un estudio para la instalación de un suelo radiante y unas placas solares para producir A.C.S. en una vivienda unifamiliar situada en Ciudad Rodrigo, en la provincia de Salamanca. Debido a la nueva normativa del CTE, se debe instalar una forma de energía alternativa en las edificaciones de construcción reciente, eligiendo para este caso específico los paneles solares térmicos.

Se va a desarrollar el estudio de las instalaciones del suelo radiante y de los paneles solares., calculando la carga térmica necesaria de la vivienda, la demanda de A.C.S. y la energía necesaria para obtenerla. Además se calculará la energía obtenida por las placas y el ahorro aportado por estas.

Se valorarán, los diferentes costes de ambas instalaciones para elaborar un presupuesto aproximado, teniendo en cuenta el coste de los materiales empleados. También, se obtendrá el ahorro obtenido con los paneles solares y el tiempo necesario para amortizar la inversión.

## **ABSTRACT**

This project presents a study on the installation of a radiant floor heating system, and of thermal solar panels for the production of Sanitary Hot Water (SHW) in a house located at Ciudad Rodrigo, in the province of Salamanca (Spain). Due to the new CTE regulation, an alternative energy generation system must be installed in buildings of recent construction, choosing the thermal solar panels in this situation.

The study of different types of radiant-floor- and solar-panel- installations will be developed, calculating for that purpose the necessary heat capacity of the house, the SHW demand and the energy required to reach this value. Finally, the energy obtained by the solar panels is also calculated, as well as the savings that are generated.

The costs of both types of installations will be evaluated to estimated an approximate budget, taking into account the cost of the materials used for that purpose. The savings obtained by the solar panels and the time required to recover the investment will be calculated too.

# **INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE Y ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR.**

## **DOCUMENTO N° 1: MEMORIA TÉCNICA**

## **1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO**

### **1.1. ALCANCE**

El alcance del siguiente proyecto que se va a desarrollar, consistirá en realizar un estudio con el propósito de dimensionar y diseñar las instalaciones tanto de un suelo radiante, como de unos paneles solares térmicos, que se desean realizar en una vivienda unifamiliar.

El motivo de la instalación del suelo radiante, es que sirva como método de calefacción para la vivienda; a su vez, la finalidad de los paneles solares térmicos es la obtención de agua caliente sanitaria (A.C.S.). Otro motivo, es la obligatoriedad por parte del CTE (Código Técnico de Edificación)<sup>[3]</sup> para instalar en las nuevas edificaciones de un sistema de energía alternativa.

Dicha vivienda, cuya edificación se finalizó recientemente, se sitúa en la localidad salmantina de Ciudad Rodrigo.

También, se verificará que los resultados obtenidos de dicho estudios cumplan la nueva normativa recogida tanto en el CTE como en el RITE.

### **1.2. OBJETIVOS**

Los objetivos que se desean alcanzar con el siguiente proyecto son:

- Obtener la demanda mensual y anual de A.C.S. requerida en la vivienda teniendo en cuenta el tipo de construcción, el uso de esta, la estimación de personas según la estructura y el consumo medio por persona.
- Calcular y diseñar la instalación de las placas solares térmicas, teniendo en cuenta las previsiones de demandas mensuales y anuales de A.C.S., así como la energía solar disponible en la localidad a lo largo del año.

- Obtener tanto el ahorro generado como la energía que aportarían las placas solares térmicas de la instalación anterior.
- Obtener las cargas térmicas de calefacción que se van a dar en la vivienda, con el propósito de poder dimensionar y diseñar la instalación del suelo radiante.
- Realizar una valoración económica o presupuesto del proyecto así como analizar la posible rentabilidad de la instalación de las placas solares térmicas en relación al ahorro generado.
- Comprobar que los resultados obtenidos en el estudio concuerdan y corresponden a los requisitos exigidos en la nueva normativa del CTE y del RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios). [2]

### **1.3. DATOS DE PARTIDA**

Se parte de los siguientes datos como base del proyecto:

- Datos meteorológicos medios mensuales y anuales (temperatura del ambiente y del agua de la red, radiación solar, velocidad del viento, etc.).
- Ubicación geográfica y orientación de la vivienda.
- Consumo y demanda de A.C.S. de la vivienda en relación al porcentaje de ocupación de la vivienda y al número de personas que vivirán en ella.
- Disposición y estructura de la vivienda (plantas de la casa, nº de habitaciones, superficie útil de la vivienda, etc.).
- Datos de la instalación solar propuesta: colectores solares, circuito solar (primario), acumuladores térmicos, circuito auxiliar (secundarios), y las características y descripción de dichos elementos.



- Datos del sistema de calefacción de la vivienda: fuente energética utilizada, tipo y características de la caldera de calefacción.
- Ubicación y posición de los elementos de las instalaciones (solar térmica y del suelo radiante) en la vivienda.

Coste en términos económicos tanto de todos los elementos que se van a emplear para las instalaciones, como del coste de la energía usada por el sistema de calefacción.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. EMPLAZAMIENTO DE LA VIVIENDA

La vivienda se encuentra situada en la localidad de Ciudad Rodrigo, en la provincia de Salamanca. La dirección exacta de la casa es en la Calle Fuente Boticaria, en el número 22.

Las coordenadas geográficas son las siguientes:

- Latitud: 40° 35' 50'' Norte.
- Longitud: 6° 32' 2'' Oeste.

La altitud de la localidad es de 651 metros sobre el nivel del mar.

Para poder situar de una manera más clara y concreta la vivienda, se observará su situación en las figuras 2.1 y 2.2.

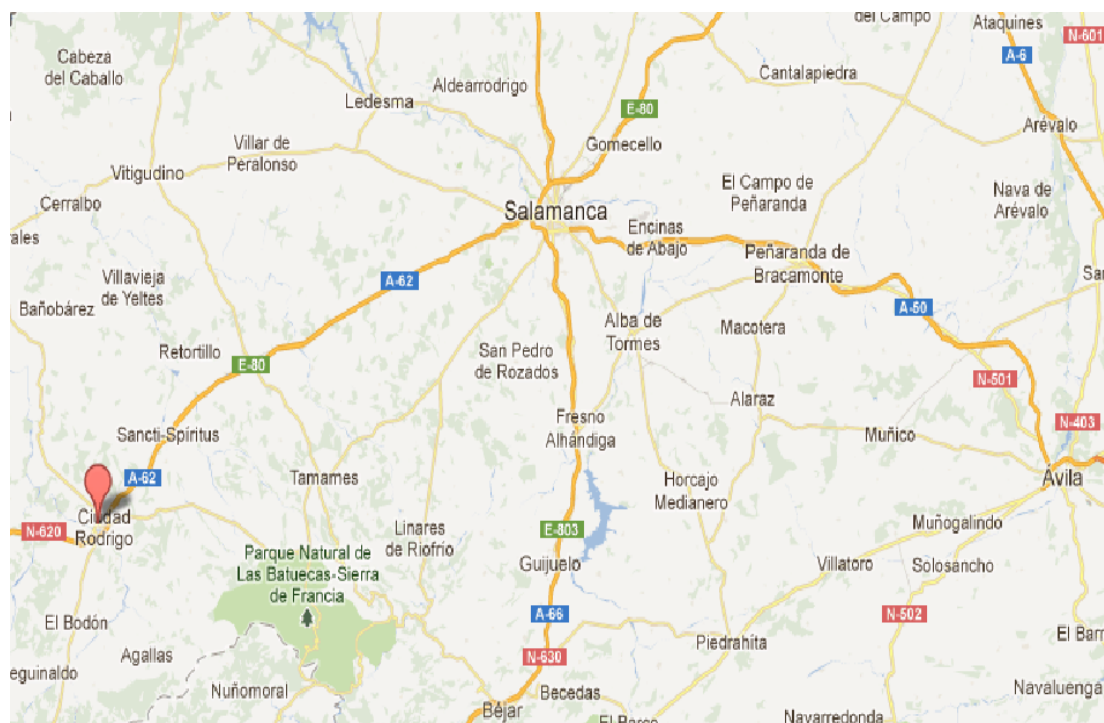


Figura 2.1: Ubicación con respecto a un mapa de la provincia. [11]



Figura 2.2: Ubicación con respecto al plano de la localidad. [11]

2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CASA

La vivienda es una vivienda de nueva edificación, concretamente su finalización corresponde al mes de Julio del 2008. Se trata de una vivienda unifamiliar aislada, de aproximadamente 146 m<sup>2</sup> de superficie, repartidos en tres plantas: planta baja, primera planta, planta bajo cubierta (desván), además de disponer de un garaje.

La distribución de las dependencias de la casa se muestra en la tabla 2.1.:

Tabla 2.1: Distribución de las dependencias de la casa.

Planta	Dependencias
Planta baja	Dos Dormitorios, Dos aseos, Cocina, Vestíbulo y Salón.
Planta primera	Dos dormitorios, baño, distribuidor y despacho.
Planta baja	Desván.

La superficie de cada planta está repartida de la siguiente manera:

- Planta baja: 70,9 m<sup>2</sup>.
- Planta primera: 41,8 m<sup>2</sup>.
- Planta Bajo – Cubierta: 32,6 m<sup>2</sup>.

La disposición de la superficie de la vivienda se especifica en las tablas 2.2, 2.3 y 2.4.

El edificio se encuentra ubicado sobre el terreno, sin encontrarse elevado con respecto al suelo. Su fachada principal se encuentra orientada hacia el Nordeste. Eligiendo para la ubicación de los paneles, la cubierta perteneciente a la fachada opuesta a la principal del edificio. La orientación es, por lo tanto, suroeste, con 45 ° aproximadamente con respecto al sur. La inclinación de la cubierta del tejado es de aproximadamente de unos 35°.

Tabla 2.2: Superficie de la planta baja de la vivienda.

PLANTA BAJA	
Dependencia	Superficie (m <sup>2</sup> )
Dormitorio 1	12,7
Dormitorio 2	9,8
Aseo 1	3,9
Aseo 2	2,7
Cocina	11,1
Vestíbulo	10,2
Salón	20,5

Como la edificación es una vivienda aislada, que además no se encuentra rodeada por ningún otro edificio. Esto va a generar, que ningún elemento pueda generar sombra en la cubierta elegida para la ubicación de los paneles solares.

Tabla 2.3: Superficie de la planta primera de la vivienda.

PLANTA PRIMERA	
Dependencia	Superficie (m <sup>2</sup> )
Distribuidor	2,7
Baño	3,4
Dormitorio 3	12,0
Dormitorio 4	13,6
Baño 2	3,3
Despacho	6,8

Tabla 2.4: Superficie de la planta bajo – cubierta de la vivienda.

PLANTA BAJO - CUBIERTA	
Dependencia	Superficie (m <sup>2</sup> )
Desván	32,6

2.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA ZONA

El clima es mediterráneo continental, con inviernos fríos y lluviosos, y veranos cálidos y secos. Las lluvias son más abundantes en otoño y primavera, y en invierno, son habituales las nieblas y las heladas nocturnas, con temperaturas de hasta -15 °C aproximadamente. Las nevadas no son muy frecuentes, dándose generalmente una o dos a lo largo del año. La temperatura histórica más baja registrada fue de – 16° C. Los veranos son secos y durante las horas centrales del día, se pueden sobrepasar los 40 °C.

Los datos climatológicos de la zona se muestran en las tablas 2.5 y 2.6.

Tabla 2.5: Datos climatológicos de la zona (I).

	Tª media ambiente diurna (°C)	Tª media agua de red (°C)	Radiación solar (kJ/m <sup>2</sup> /día)
Enero	6	5	6100
Febrero	7	6	9500
Marzo	10	8	13 500
Abril	13	10	17 100
Mayo	16	11	19 700
Junio	20	12	22 800
Julio	24	13	24 600
Agosto	23	12	22 600
Septiembre	20	11	17 500
Octubre	14	10	11 300
Noviembre	9	8	7400
Diciembre	6	5	5200
Anual	14,0	9,3	14 775

Tabla 2.6: Datos climatológicos de la zona (II).

	Precipitación media (L/m <sup>2</sup> )	Nº días precipitaciones	Nº días heladas	Insolación (h/mes)
Enero	35	6	19	116
Febrero	23	6	14	150
Marzo	29	5	11	204
Abril	35	7	4	216
Mayo	45	8	1	258
Junio	31	5	0	304
Julio	16	3	0	349
Agosto	10	2	0	330
Septiembre	32	4	0	245
Octubre	39	7	1	185
Noviembre	44	7	11	134
Diciembre	40	7	15	96
Anual	31,6	5,6	5,5	215,6

### **3. INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA**

#### **3.1. CLASIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS**

Un medio muy útil de aumentar la eficiencia energética de un edificio es aprovechar la energía procedente del sol, convirtiendo la radiación solar en energía térmica, mediante el aumento de calor y temperatura de un fluido gracias al uso de colectores o captadores solares.

Las instalaciones de energía solar térmica se pueden clasificar según el uso o no de elementos mecánicos para la captación en: pasivas o activas.

- Las instalaciones pasivas se basan en procesos físicos básicos, y están enfocadas a la aclimatación (calefacción o refrigeración) de volúmenes habitados, todo esto sin la actuación de ningún instrumento mecánico.
- Las instalaciones activas son utilizadas para el calentamiento de fluidos, normalmente agua, y para la refrigeración de aire a partir de la concentración de la radiación Solar.

El colector o captador es un elemento que, expuesto a la radiación solar, absorbe su energía y la transmite a un fluido en forma de calor.

Existen tres técnicas diferentes en función de la temperatura que puede alcanzar la superficie captadora:

- Baja temperatura: captación directa, la temperatura del fluido está por debajo del punto de ebullición.
- Media temperatura: captación de bajo índice de concentración, la temperatura del fluido es superior a 100 °C.



- Alta temperatura: captación de alto índice de concentración, la temperatura del fluido es más elevada, llegando a alcanzar temperaturas de 500 – 600 ° C.

Esta división se puede observar en la figura 3.1.

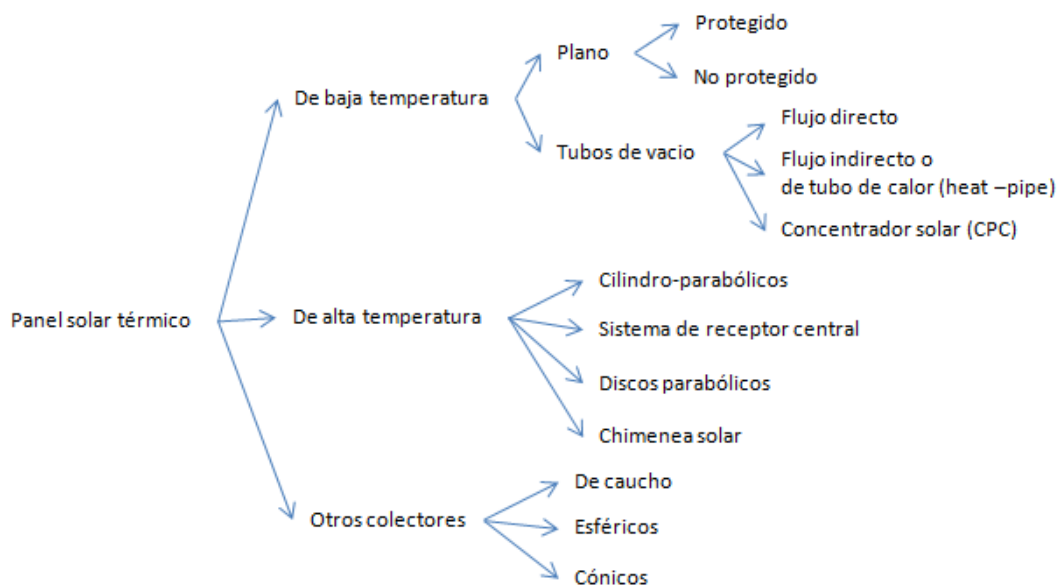


Figura 3.1: Clasificación de paneles solares térmicos.

### 3.2. CAPTADORES DE BAJA TEMPERATURA

- Captador solar plano, también llamado *colector solar plano* o *panel solar térmico*, consistente en una caja plana metálica por la que circula un fluido, que se calienta a su paso por el panel. Puede ser a su vez:
  - Captador plano protegido: con un vidrio que limita las pérdidas de calor.
  - Captador plano no protegido: sistema más económico y de bajo rendimiento, utilizado esencialmente para climatización de piscinas.

- Panel de tubos de vacío, donde la superficie captadora está aislada del exterior por un doble tubo de vidrio que crea una cámara al vacío. Existen dos sistemas:
  - Flujo directo: su funcionamiento es idéntico al de los colectores solares planos, en donde el fluido caloportador circula por el tubo expuesto al sol, calentándose a lo largo del recorrido.
  - Flujo indirecto o *Heat pipe*: es una evolución del tubo de flujo directo. En este sistema, se utiliza un fluido que se evapora al calentarse, ascendiendo hasta un intercambiador ubicado en el extremo superior del tubo. Una vez allí, se enfría y vuelve a condensarse, transfiriendo el calor al fluido principal.

### 3.3. CAPTADORES DE MEDIA - ALTA TEMPERATURA

- Cilindro – Parabólicos y Discos parabólicos (concentrador solar): el fluido se calienta a alta temperatura mediante espejos parabólicos. Pueden ser:
  - Sistemas lineales (disposición cilíndrica): concentran la radiación solar directa en el receptor situado en la línea focal de la parábola, calentando el fluido al recorrer la línea existente en dicho foco.
  - Sistemas puntuales (disposición esférica): un soporte en el que se instala el elemento reflectante, disco parabólico, que forma el concentrador de la energía solar. También incluye un sistema orientador para que la radiación solar se proyecte adecuadamente hacia el receptor. Usado cuando la infraestructura es de dimensiones limitadas.
- Sistema de receptor central: en el rango de 400-1000°C. El dispositivo consta de una torre central, de altura comprendida entre 60 y 100 metros, alojando en su parte más alta el horno solar. La base de la torre posee una columna vertical, en la que se encuentran situado el campo de helióstatos.

- Chimenea solar: consiste en una gran superficie colectora de invernaderos, formando una gran cubierta de cristal abierta en su entorno, en cuyo centro se dispone una chimenea de gran altura, con amplias entradas de aire en su base.

Los rayos solares traspasan la superficie captadora (la cubierta), calentando el aire en el interior, perdiendo densidad y expandiéndose. El aire caliente converge hacia la chimenea y asciende por ella por convección natural, provocando un chorro de aire a gran velocidad dentro de la chimenea.

### **3.4. CAPTADORES DE BAJA TEMPERATURA**

Los captadores (colectores) solares son los elementos que capturan la radiación solar y la convierten en energía térmica en calor

Como captadores solares de baja temperatura, se conocen los de placa plana, los de tubos de vacío, los captadores absorbedores sin protección ni aislamiento y los sistemas de captación planes (o de placa plana) con cubierta de vidrio son los comunes mayoritariamente en la producción de agua caliente sanitaria A.C.S.

El vidrio deja pasar los rayos del Sol, estos calientan unos tubos metálicos que transmiten el calor al líquido de dentro. Los tubos son de color oscuro, ya que las superficies oscuras calientan más.

El vidrio que cubre el captador no sólo protege la instalación sino que también permite conservar el calor produciendo un efecto invernadero que mejora el rendimiento del captador.

Están formados de una carcasa de aluminio cerrada y resistente a ambientes marinos, un marco de aluminio eloxat, una junta perimetral libre de siliconas, aislante térmico respetuoso con el medio ambiente de lana de roca, cubierta de vidrio solar de alta transparencia, y finalmente por tubos soldados ultrasónicos.

### **3.5. DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CAPTADORES DE BAJA TEMPERATURA**

- Captador solar plano protegido: Son los más utilizados por tener la relación coste-producción de calor más favorable.

La cara expuesta al sol está cubierta por un vidrio muy fino, mientras que las cinco caras restantes son opacas y están aisladas térmicamente. Dentro de la caja, expuesta al sol, se sitúa una placa metálica. Esta placa está unida o soldada a una serie de conductos por los que fluye un caloportador (generalmente agua, glicol, o una mezcla de ambos).

A dicha placa se le aplica un tratamiento superficial selectivo para que aumente su absorción de calor, o simplemente se la pinta de negro.

- Colectores planos no protegidos: son una variante económica de los anteriores donde se elimina el vidrio protector, dejando la placa expuesta directamente al ambiente exterior.

Carecen también de aislamiento perimetral. Dada la simplicidad de este tipo de paneles, existen multitud de variantes, conceptualmente, una simple manguera enrollada y pintada de negro es, en esencia, un colector solar plano no protegido.

Debido a su limitada eficiencia, necesitan una superficie más grande para conseguir las prestaciones deseadas, pero lo compensan con su bajo coste.

- Tubos de vacío: los tubos de vacío suponen un concepto distinto: se reduce la superficie captadora a cambio de unas pérdidas caloríficas menores.

La lámina captadora se coloca dentro de tubos al vacío, estos tubos presentan el mismo aspecto que un tubo fluorescente tradicional, pero de color oscuro.

Los paneles se forman con varios de estos tubos montados en una estructura de peine. Las ventajas, son su mayor aislamiento (lo que lo hace especialmente indicado para climas muy fríos o de montaña), y su mayor flexibilidad de colocación, permitiendo una variación de unos 20° sobre su inclinación ideal sin pérdida de rendimiento.

La desventaja de esto, es un mayor coste.

En el caso, que uno de los tubos se estropeará, no hay que cambiar todo el panel por uno nuevo, sino que sólo hay que cambiar el tubo afectado.

- Concentrador solar CPC: consiste en un tubo de vidrio de doble pared, con la superficie absorbadora cilíndrica apoyada en la pared del tubo interior.

Su fin es evitar posibles pérdidas de vacío a través de la conexión entre el metal y el vidrio que se produce en otros diseños de tubos de vacío. Dada ésta característica cilíndrica del absorbedor, las ampollas se montan en caballetes provistos de reflectores concentradores.

A la unidad completa del captador se comercializa bajo el nombre CPC (captador de concentración cilindro-parabólico compuesto).

La eficacia de los reflectores situados fuera del tubo de vidrio puede disminuir con el tiempo debido a la influencia de la intemperie. Por tal razón, deberían verificarse y limpiarse los re-flectores durante el mantenimiento. Su rendimiento es inferior comparado con otros tipos de tubos de vacío.

El proyecto a desarrollar se centrará en el uso instalaciones de baja temperatura que no superan los 80 °C (captación directa). Una ventaja importante de las instalaciones de baja temperatura es el alcance de rendimientos energéticos superiores a otras tecnologías, en torno al 70-80%, frente a rendimientos del 20 - 30%, conseguidos a través de la energía solar fotovoltaica.

### 3.6. TIPOS DE INSTALACIONES

La tecnología de baja temperatura tiene cuatro aplicaciones fundamentales: producción de A.C.S., climatización de piscinas, calefacción y suelo radiante, y generación de frío.

Este tipo de instalaciones se dividen en tres subsistemas:

- Subsistema de captación: encargado de captar la radiación solar y transmitir el calor al fluido.
- Subsistema de almacenamiento: tiene como finalidad facilitar la disponibilidad de la energía cuando sea necesaria, para ello se acumula la energía en forma de agua caliente.
- Subsistema de distribución: traslada a los puntos de consumo el agua caliente obtenida y contiene la fuente energética de apoyo.

Entre el subsistema de captación y el subsistema de almacenamiento puede existir o no un intercambiador de calor dependiendo de si se trata de una instalación de circuito abierto o de circuito cerrado:

- Circuito abierto: no existe intercambiador. El circuito primario está conectado directamente con el acumulador de manera que el agua de consumo es la misma que pasa por los colectores. Esta configuración es la más sencilla y obtiene mejor rendimiento térmico debido a que no hay pérdidas por el intercambio de calor.

Sin embargo, no puede haber materiales tóxicos o contaminantes y no se pueden usar anticongelantes.

En la figura 3.2, está representado un esquema del circuito abierto.

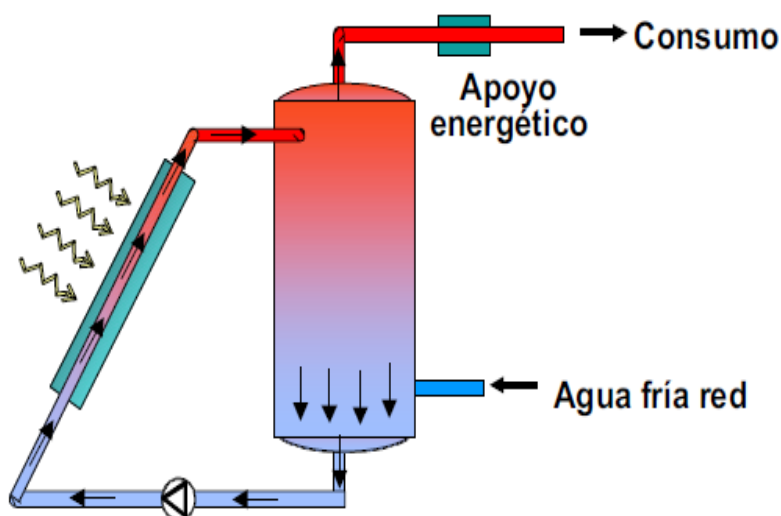


Figura 3.2: Instalación solar térmica de circuito abierto. [9]

- Circuito cerrado: existe un intercambiador de calor, que puede situarse en el interior del acumulador o en el exterior, conectado en serie en el circuito, y que separa el circuito primario del circuito secundario (circuito de consumo).

Por esto, en el circuito primario, se pueden utilizar anticongelantes. Por otro lado, aumenta la complejidad de la instalación, aumenta el coste y se disminuye el rendimiento debido a las pérdidas en el intercambio de calor.

En la figura 3.3, se observa el esquema del circuito cerrado.

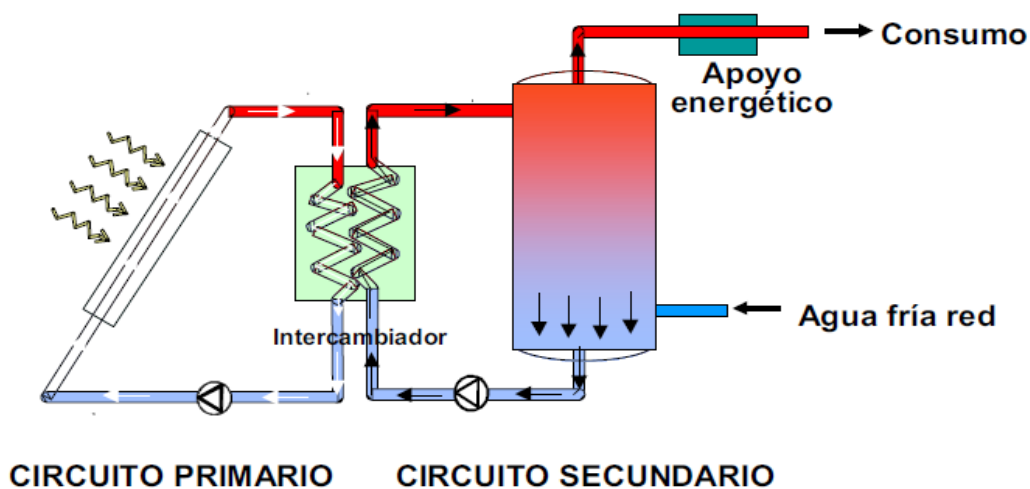


Figura 3.3: Instalación solar térmica de circuito cerrado. [9]

En ambos casos, la circulación del fluido se produce a través del circuito. Dicha circulación se puede realizar de dos formas diferentes:

- Circulación natural (Termosifón): el movimiento del agua por circulación natural o termosifón se produce por la diferencia de temperaturas entre el agua fría del tanque y la caliente del colector.

El agua interior del colector calentada por el sol, disminuye su densidad al aumentar su temperatura por efecto de la radiación solar, esto hace que al tener mayor densidad el agua fría del depósito (colocado necesariamente por encima de los colectores más de 30 cm.), empuja al agua caliente del colector, obligándola a ascender por la tubería que une la parte superior del tanque.

De esta forma, se produce el movimiento o circulación del agua del colector al depósito, manteniéndose este efecto mientras haya suficiente diferencia de temperaturas entre el colector y el depósito. Una vez calentada el agua del depósito, las temperaturas se igualan y se pierde el movimiento generado.

Cuando se produce una extracción de agua caliente el depósito se rellena con agua de la red, la temperatura del tanque baja y el movimiento se reinicia por sí mismo.

Dos son los factores que influyen en la fuerza ascensional del agua:

- La diferencia media de temperaturas del agua a la salida del colector y en la parte baja del depósito.
- Diferencia de alturas  $h$  entre el tanque y los colectores (mínimo 30 cm.)



Este sistema aporta simplicidad a la instalación ya que no requiere bomba de circulación ni regulación electrónica, facilita el montaje y minimiza el mantenimiento.

Sin embargo, el caudal circulante no puede ser muy grande y se reduce el rendimiento de la instalación.

Se puede observar en la figura 3.4, el funcionamiento de una instalación por circulación natural.

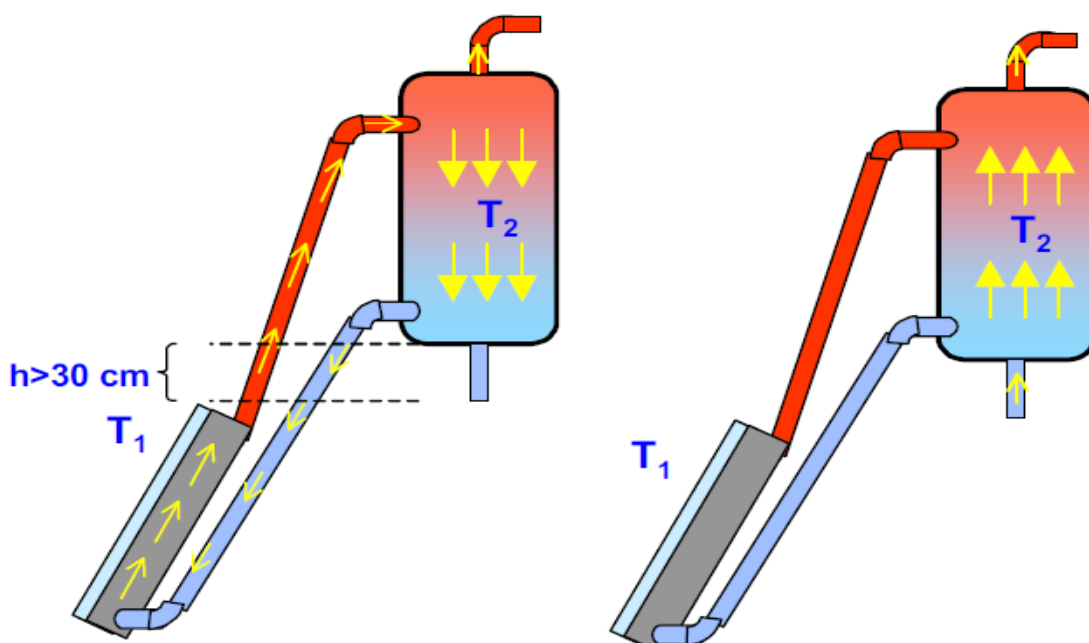


Figura 3.4: Instalación solar térmica de circulación natural. A) Efecto termosifón. B) Extracción de agua caliente. [9]

- Circulación forzada: en este caso la circulación del fluido está controlada por un electrocirculador (bomba eléctrica), permitiendo colocar el depósito a una altura inferior a la de los colectores. Con esta configuración se obtiene un mayor rendimiento.

Como inconvenientes tiene la necesidad de energía eléctrica y de regulación y control de la circulación. Además hay que colocar una válvula anti retorno para evitar el efecto termosifónico nocturno.

En la figura 3.5, se observa el esquema de una instalación por circulación forzada.

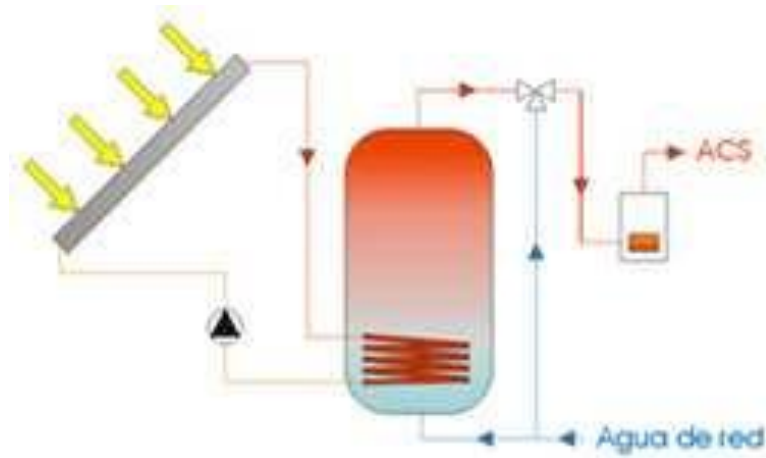


Figura 3.5: Instalación solar térmica de circulación forzada. [9]

#### **4. DESCRIPCIÓN DE INSTALACIÓN Y ELEMENTOS**

Dentro de una instalación de energía solar la parte que mayor importancia tiene, tanto desde el punto de vista técnico como económico, es el campo de colectores, si bien la calidad de la misma viene dada por el conjunto de todos sus componentes.

El aprovechamiento de la energía solar estará optimizado cuando se diseñe de forma adecuada la dimensión de los siguientes elementos:

El campo de colectores, el almacenamiento, el intercambiador de calor, las bombas o electrocirculadores, las tuberías, las válvulas, el vaso de expansión, los purgadores y el control de la instalación.

El circuito primario transporta el calor desde el captador hasta el acumulador o intercambiador. El líquido calentado (agua o una mezcla de sustancias que puedan transportar el calor) lleva el calor hasta el acumulador. Una vez enfriado, vuelve al colector para volver a calentar, y así sucesivamente.

##### **4.1. COLECTOR SOLAR**

El colector trata de extraer parte del calor producido por el flujo radiante incidente para aprovecharlo como energía utilizable, el resto es energía perdida por radiación, convección y conducción. La energía utilizable es extraída del colector a través de un fluido llamado fluido caloportador. Cuanto mayor sea la diferencia entre la temperatura de utilización y la temperatura ambiente, mayores serán también las pérdidas térmicas y, por tanto, menor la cantidad de energía útil o aprovechable que el fluido será capaz de extraer.

El colector solar, como ya se ha mencionado, es el elemento encargado de captar la radiación solar y convertir su energía en energía calorífica.

El mayor o menor aprovechamiento de dicha energía determina el rendimiento del colector que se define como el cociente entre la energía útil obtenida y la energía

solar incidente. El rendimiento es la característica principal que define un colector y depende de un gran número de parámetros y variables.

Existen muchos tipos de colectores, atendiendo a los fines específicos a que van destinados, a las características de sus partes fundamentales, a los materiales utilizados en su construcción, etc. El modelo más utilizado para la aplicación de producción de A.C.S. es el denominado colector de placa plana.

## **4.2. EFECTO INVERNADERO**

La radiación solar electromagnética, al incidir sobre un cuerpo, puede ser total o parcialmente absorbida. Otra parte puede reflejarse y una tercera, atravesar el cuerpo en cuestión.

Algunos cuerpos son transparentes sólo para ciertas zonas del espectro electromagnético y resultan opacos para otras. El vidrio, por ejemplo, es transparente entre 0,3 y 3  $\mu\text{m}$  y opaco para una mayor longitud de onda. La mayor parte del espectro de la radiación solar está comprendido entre 0,3 y 3  $\mu\text{m}$  por lo que la luz solar atraviesa el vidrio sin mayor problema.

En un típico colector de placa plana, cuya cubierta sea de vidrio, el absorbedor, generalmente metálico, donde se efectúa la conversión de energía electromagnética (radiación solar) en térmica, está situado bajo la cubierta y a unos pocos centímetros de distancia de la misma. Después de atravesar el vidrio, la radiación llega a la superficie del absorbedor, que se calienta y emite a su vez radiación con una longitud de onda más o menos comprendida entre 4,5 y 7,2  $\mu\text{m}$ , para la cual el vidrio es opaco.

Por lo tanto, la radiación emitida por el absorbedor y devuelta hacia el vidrio de la cubierta, es reflejada en un pequeño porcentaje por la superficie interior de dicho vidrio, pero el resto es absorbido, no consiguiendo escapar al exterior. Entonces, es el propio vidrio quien se calienta y comienza también a emitir radiación.

Aproximadamente la mitad de esta radiación se difunde hacia el exterior, perdiéndose, pero la otra mitad vuelve hacia el interior y contribuye así a calentar aún más la superficie del absorbedor. Este último fenómeno se conoce como efecto invernadero. Una demostración del funcionamiento del efecto invernadero, viene explicado en la figura 4.2.

En la figura 4.1, está reflejado el comportamiento de radiación solar al incidir sobre una placa solar.

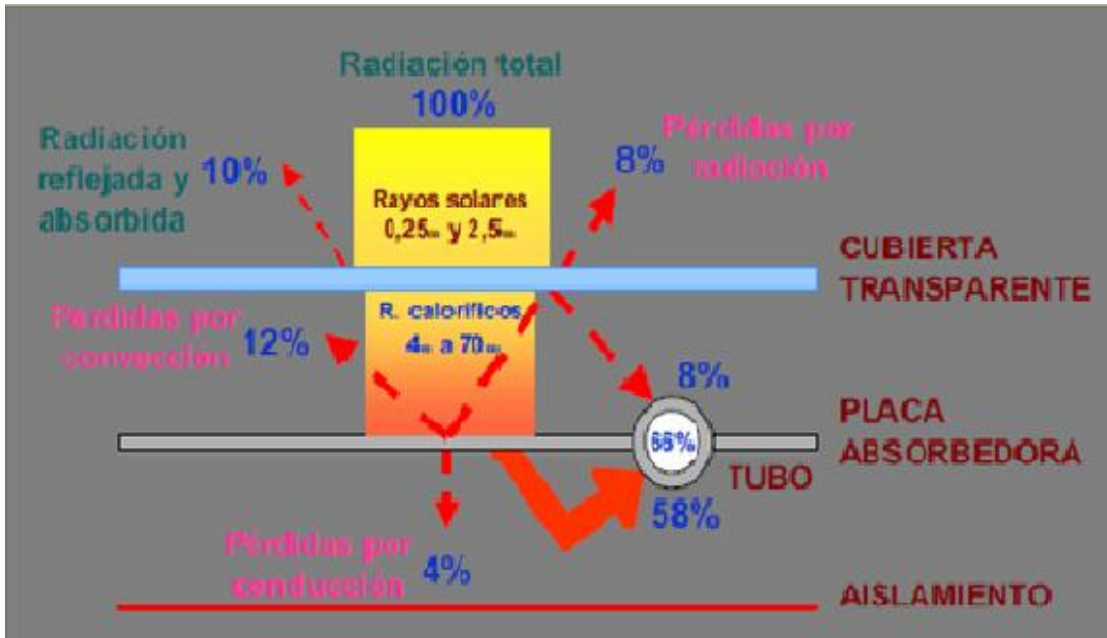


Figura 4.1: Balance de las pérdidas y ganancias de la radiación solar incidente. [9]

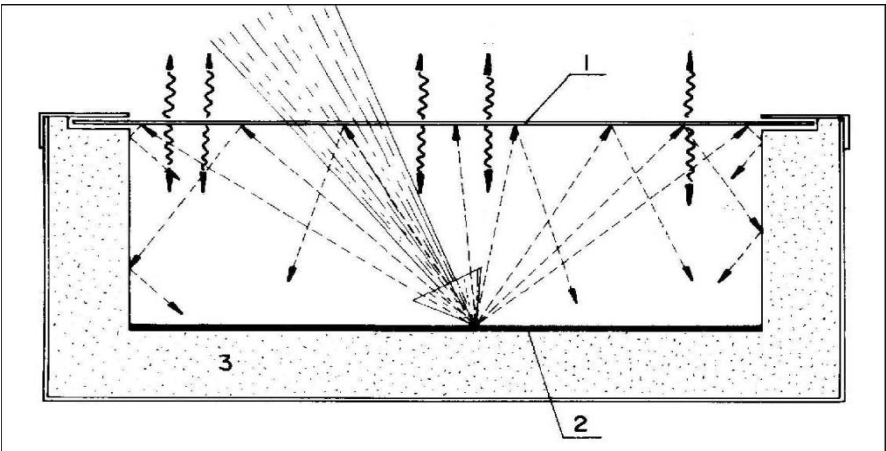


Figura 4.2: Ilustración del efecto invernadero en un corte transversal de un colector.

1) Cubierta transparente. 2) Placa absorbidora. 3) Aislamiento. [5]

### 4.3. FUNCIONAMIENTO DE LOS COLECTORES DE PLACA PLANA

Considerando un colector expuesto al sol sin ninguna circulación de fluido en su interior, la temperatura del absorbedor se elevará progresivamente a la vez que lo harán las pérdidas por conducción, convección y radiación.

$$\text{Pérdidas} = P_{\text{conducción}} + P_{\text{convección}} + P_{\text{radiación}}$$

Las pérdidas por conducción, aquellas producidas por la transferencia de calor con los materiales adyacentes a la placa; las pérdidas por convección, aquellas provocadas por el aumento de la temperatura del aire que rodea la placa; y las pérdidas por radiación, aquellas debidas a la emisión de la placa de parte de la energía recibida.

En estas condiciones, llega un punto en el que dichas pérdidas se igualan a la energía que el absorbedor recibe del sol, alcanzando la temperatura de equilibrio estática. Dicha temperatura depende de las condiciones exteriores: cuanto más frío sea el ambiente, más baja será. En la práctica, lo importante no es la temperatura de equilibrio del absorbedor, sino la diferencia entre ésta y la temperatura exterior.

La velocidad del viento, influye de manera importante, ya que a mayor velocidad, mayores pérdidas térmicas por convección, disminuyendo por lo tanto la temperatura del absorbedor.

Si se permitiese circular el fluido caloportador pasando en contacto con la parte interior del absorbedor, dicho fluido irá tomando calor del mismo, aumentando de temperatura a expensas de la del absorbedor, la cual irá disminuyendo. Manteniendo unas condiciones estacionarias se alcanzará, por tanto, una nueva temperatura de equilibrio dinámica, que será más baja que la temperatura de equilibrio estática puesto que a las pérdidas anteriores se suman las pérdidas por el intercambio de calor entre la placa y el fluido.

El colector de placa plana está constituido por cuatro elementos principales, que son: el absorbedor, la carcasa, el aislamiento y la cubierta transparente.

En las figuras 4.3 y 4.4 se desarrolla el esquema constructivo de un colector de placa plana.

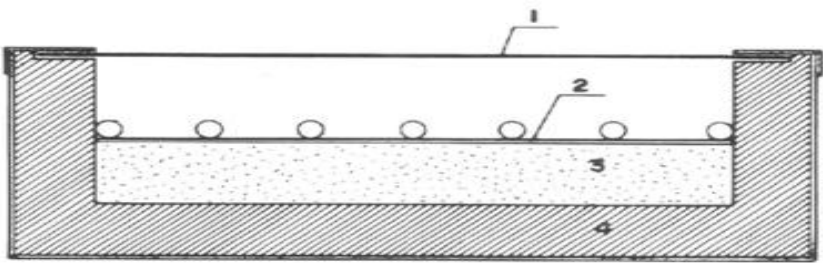


Figura 4.3: Corte transversal de un colector de placa plana sin concentración.

1) Cubierta transparente. 2) Absorbedor. 3) Aislamiento. 4) Carcasa. [5]



Figura 4.4: Esquema componentes de un colector de placa plana. [10]

4.3.1. CUBIERTA TRANSPARENTE

La función de la cubierta transparente es por un lado provocar el efecto invernadero y reducir al mismo tiempo las pérdidas por convección, mejorando así el rendimiento del colector, y por otro lado asegurar la estanqueidad del colector al agua y al aire, en unión con la carcasa y las juntas.

Las cualidades físicas que debe tener una buena cubierta para cumplir con su función son:

- Poseer un alto coeficiente de transmisión de la radiación solar en la banda de  $0,3\ \mu\text{m}$  a  $3\ \mu\text{m}$ , y que dicho coeficiente se conserve con el paso de los años.
- Tener, por el contrario, un coeficiente de transmisión para las ondas largas superiores a  $3\ \mu\text{m}$  lo más bajo posible.
- Tener un coeficiente de conductividad térmica bajo que dificulte el paso de calor desde la superficie interior de la cubierta hacia el exterior.
- Tener un coeficiente de dilatación bajo para evitar el riesgo de rotura o deformación.
- La cara interior debe tener un alto coeficiente de reflexión para la longitud de onda larga de la radiación emitida por el absorbedor.
- Poseer una buena resistencia mecánica y no mantener la suciedad adherida a la superficie exterior.

Los principales materiales utilizados en las cubiertas son el vidrio y el plástico transparente.

- El vidrio: se deben elegir vidrios recocidos o templados, ya que sus propiedades ópticas no se deterioran en dichos procesos y, a cambio, mejoran sus propiedades mecánicas. Las propiedades ópticas se definen por la transmitancia, es decir, el cociente entre la energía que lo atraviesa y la que incide sobre él. En cuanto a las propiedades mecánicas, debe resistir la acción del viento y las contracciones térmicas para lo cual debe tener los bordes muy bien realizados, paralelos y sin fisuras.



- Materiales plásticos: ciertos materiales plásticos poseen propiedades ópticas análogas a las del vidrio, además son menos pesados, menos frágiles y tienen una baja conductividad térmica. Sin embargo, todavía poseen ciertas desventajas en cuanto a la resistencia mecánica como un coeficiente de dilatación importante, mala resistencia a temperaturas elevadas o poca dureza.

En algunos casos, puede interesar instalar colectores con dos cubiertas. La cubierta doble tiene la ventaja de acrecentar el efecto invernadero, reducir las pérdidas por convección y aumentar la temperatura del fluido pero, por el contrario, aumenta las pérdidas ópticas. Se puede decir que la doble cubierta es más interesante cuanto más baja es la temperatura exterior y más fuerte es el viento.

#### **4.3.2. ABSORBEDOR**

El absorbedor tiene como misión recibir la radiación solar, transformarla en calor y transmitirla al fluido caloportador. Generalmente está compuesto por una o dos placas metálicas y tubos de cobre soldados o embutidos a ésta, por los que circula el fluido. En lugar de placa metálica, se puede dotar a los tubos de aletas fabricadas en aluminio.

La cualidad principal que define la eficacia de un absorbedor, es la capacidad para absorber la mayor radiación posible, por eso, siendo conveniente recubrir la cara del absorbedor expuesta al sol con un revestimiento especial.

Se utilizan dos procedimientos: pinturas o superficies selectivas. Los parámetros que caracterizan estos recubrimientos son el coeficiente de absorción y el de emisión. Las pinturas tienen un alto coeficiente de absorción (del orden de 0,9), pero también tienen un coeficiente de emisión sensiblemente igual con lo que se incrementan las pérdidas por emisión.

Las superficies selectivas combinan una alta absorptancia (de 0,8 a 0,9) con una baja emitancia (de 0,06 a 0,15), pero estos tratamientos tienen el inconveniente de tener un precio más elevado.

#### **4.3.3. AISLAMIENTO POSTERIOR**

El absorbedor está protegido en su parte posterior contra las pérdidas térmicas por un aislamiento que debe poseer algunas características especiales:

- Debe resistir altas temperaturas sin deteriorarse.
- No debe desprender vapores si se descompone bajo la acción del calor.
- No debe degradarse por envejecimiento.
- Tiene que conservar sus cualidades frente a la humedad que puede crearse en el interior por la condensación.

Los materiales usados frecuentemente como aislantes son: lana de vidrio, lana de roca, espuma de vidrio, corcho expandido, poliestireno y poliuretano.

#### **4.3.4. CARCASA**

La misión de la carcasa es doble: proteger y soportar los diversos elementos que constituyen el colector y actuar de enlace con el conjunto del edificio sobre el cual se sitúa el colector, a través de los bastidores y elementos de anclaje necesarios.

La garantía de duración de la carcasa viene determinada por numerosos factores como: la rigidez, la resistencia mecánica de los anclajes, la resistencia química a la corrosión, la resistencia a las variaciones de temperatura o la aireación del interior de los colectores.

#### 4.3.5. ACUMULADOR SOLAR

Es obvio, que la necesidad de energía no es coincidente en el tiempo con la captación de energía solar, siendo imprescindible disponer de un sistema de almacenamiento que haga frente a la demanda en momentos de poca o nula insolación.

Una manera eficaz de almacenamiento, es mediante agua caliente, colocando un depósito acumulador. Los materiales usados son: el acero, acero inoxidable, aluminio y fibra de vidrio reforzada. El más adecuado es, sin duda, el acero inoxidable, aunque su precio es el más elevado.

En cuanto a la forma, suele ser cilíndrica, por su facilidad de construcción. La altura del depósito debe ser mayor que el diámetro para favorecer el fenómeno de estratificación.

El agua disminuye su densidad al aumentar la temperatura, por lo que a mayor altura, mayor será la diferencia de temperatura entre el agua de la parte superior y el agua de la parte inferior (la estratificación).

Este fenómeno es importante, ya que de la parte superior del depósito se extrae el agua de consumo a la temperatura más alta y el agua de la parte inferior, a la temperatura más baja, se dirige al sistema colector, aumentando el rendimiento.

En las figuras 4.5 y 4.6, se muestra el fenómeno de la estratificación del agua en el acumulador.

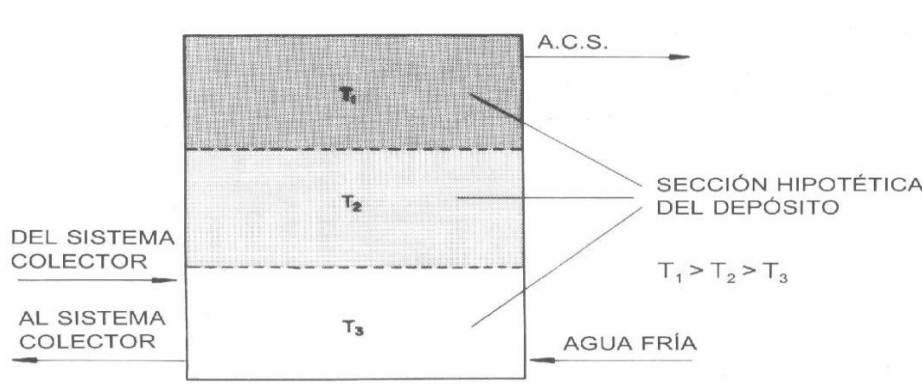


Figura 4.5: Estratificación del agua en el acumulador. [5]

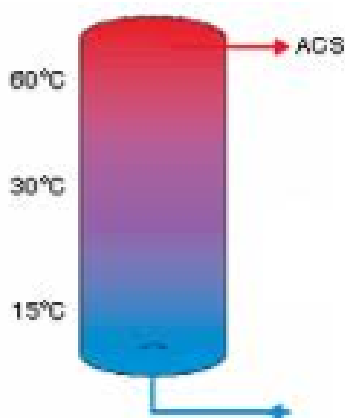


Figura 4.6: Esquema estratificación en el acumulador solar. [9]

Existen acumuladores, cuyo intercambiador de calor se encuentra incorporado en su interior. La desventaja, es que en caso de avería, se inutiliza el acumulador por completo, además, si se emplea aguas con alto contenido en cal su limpieza se complica enormemente.

El dimensionado del volumen del depósito acumulador es un factor decisivo en el diseño de la instalación y depende de tres factores:

- Superficie de colectores instalada: los estudios teóricos y experimentales demuestran que el volumen óptimo de acumulación está en torno a los 70 litros por cada  $\text{m}^2$  de colector.
- Temperatura de utilización: si se quiere obtener agua a gran temperatura, se utilizará un almacenamiento menor, permaneciendo el agua próxima a la temperatura necesaria más tiempo.
- Desfase entre captación y consumo: para desfases no superiores a 24 horas, el volumen óptimo de acumulación está entre 60 y 90 litros por  $\text{m}^2$  de colector.

Un almacenamiento mal dimensionado, en exceso o en defecto, dará lugar a un mal funcionamiento de la instalación solar. Un almacenamiento excesivo, no alcanzara los niveles de temperatura deseados, mientras que un almacenamiento escaso producirá sobrecalentamientos del circuito solar provocando un posible deterioro de la instalación y disminuyendo el rendimiento de los colectores.

#### **4.3.6. FLUIDO CALOPORTADOR**

El fluido caloportador pasa a través del absorbedor, adquiere la energía absorbida, la transforma en energía térmica (al aumentar su temperatura y calor) y transfiere esta energía térmica al acumulador o al interacumulador (subsistema de almacenamiento). Los fluidos más usados son: agua sin aditivos (agua desmineralizada), agua con anticongelantes, líquidos orgánicos sintéticos o derivados del petróleo y aceite de silicona.

En el caso de otros fluidos térmicos, se reflejaran en la memoria de diseño o proyecto de la instalación, la composición, el calor específico y la certificación favorable de un laboratorio acreditado.

- Agua desmineralizada

Se utiliza en los dos circuitos de una instalación solar: circuitos primario y secundario.

En el circuito secundario, el agua se recoge directamente de la red, capta energía y sale caliente apta para su consumo. En el circuito primario, el agua en constante movimiento, capta la energía del colector y la cede al circuito secundario a través de un acumulador solar o un intercambiador de calor.

En el circuito secundario es preceptivo utilizar una serie de materiales permitidos para la conducción de agua potable y que tengan unas características adecuadas contra la corrosión.

- Agua con anticongelante.

Los anticongelantes son sustancias que rebajan notablemente la temperatura de congelación del líquido con el que se mezclan. Están compuestos por glicoles, que son desde un punto de vista químico, alcoholes que tienen la ventaja de que no se evaporan, como el alcohol común, al mezclarlos con agua.

Tradicionalmente, los productos que mezclados con agua se utilizan como anticongelantes son dos: el etilenglicol y el propilenglicol.

La cantidad de anticongelante necesaria se calcula a través de las gráficas de congelación de las mezclas de estos productos.

Las características fundamentales de los anticongelantes son:

- Toxicidad: los anticongelantes son tóxicos, ya sea por su propia composición, como por la adición de productos que protegen la instalación contra la corrosión. Hay que asegurar de manera concienzuda que no se produzca la mezcla del glicol con el agua destinada al consumo.
- Viscosidad: al mezclar el anticongelante, este aumenta la viscosidad del agua. Una mayor viscosidad provoca un mayor rozamiento y dificulta la fluidez del agua.
- Dilatación: la mezcla de anticongelante con agua tiene mayor dilatación térmica que el agua, lo que se tendrá que valorar a la hora de dimensionar el vaso de expansión.
- Inestabilidad: la mayor parte de los anticongelantes se degradan a temperaturas superiores a los 120 grados centígrados, derivando en productos corrosivos que alteran el funcionamiento del sistema. Además, perdería sus propiedades anticongelantes.

- El pH del fluido de trabajo estará (a 20° C) entre 5 y 9.
- Temperatura de ebullición: el anticongelante eleva ligeramente la temperatura de ebullición del agua, lo que se considera como un efecto positivo sobre el sistema.
- Calor específico: la mezcla de anticongelante con agua, tiene un calor específico inferior al del agua. El calor específico no deberá ser inferior a 0.7 kcal/kg °C.
- Composición: la proporción de anticongelantes dependerá del clima de la zona. Lo normal es calcular la proporción para que la mezcla puede resistir, sin congelarse, una temperatura 5° C menor a la mínima histórica registrada en la zona.
- El contenido en sales totales solubles debe ser menor a 0,5 gramos por litro de fluido para que no se formen depósitos salinos. El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l, expresados como contenido en carbonato cálcico.
- Fluidos orgánicos

Se pueden encontrar en el mercado dos tipos de fluidos orgánicos: los sintéticos y los derivados del petróleo.

Son químicamente estables a altas temperaturas, por lo que se usarán casi exclusivamente cuando el sistema necesite alcanzar un grado elevado de calor.

Deben tratarse con las mismas precauciones que el anticongelante en lo referente a la toxicidad, viscosidad y dilatación. Además, estos líquidos suelen ser combustibles, habrá que prestarles atención para asegurarse que no provoquen incendios en la instalación.

- Siliconas y aceites.

Son productos estables y de alta calidad. Generalmente, no son tóxicos ni inflamables, al contrario que el resto de anticongelantes.

El único inconveniente es el precio, ya que su mayor coste encarece el proyecto.

#### **4.4. ELECTROCIRCULADORES O BOMBAS DE CIRCULACIÓN**

El transporte del fluido desde los colectores hasta el almacenamiento y hasta los puntos de consumo se realiza con la ayuda de electrocirculadores, aparatos accionados por un motor eléctrico, capaces de suministrar al fluido una cantidad de energía con el fin de transportarlo por un circuito a una determinada presión.

Los electrocirculadores permiten situar el depósito acumulador por debajo del nivel del campo de colectores y además garantizar el caudal mínimo necesario para que el intercambio de calor sea eficaz.

La energía producida por el electrocirculador debe vencer la resistencia que opone el fluido a su paso por la tubería y mantener la presión deseada en cualquier punto de la instalación.

El tipo de electrocirculador que se utiliza en las instalaciones de energía solar es el electrocirculador centrífugo, que está compuesto por los siguientes elementos:

- Orificio de aspiración: lugar por donde entra el líquido al electrocirculador.
- Rodete impulsor: es el elemento rotativo.
- Cámara de impulsión: es el elemento que recoge el líquido y lo conduce a la descarga del electrocirculador.



- Orificio de impulsión: lugar por donde se expulsa el líquido del electrocirculador.
- Aspiración: boca de contacto entre el electrocirculador y la tubería.
- Difusor: conducto de salida del líquido dentro del electrocirculador.
- Álabes: palas del rodete impulsor. Pueden ser cerradas o abiertas.

El líquido entra en el electrocirculador por el orificio de aspiración situado en el centro del rodete, siendo aspirado y llevado hasta los álabes. El fluido caloportador gana energía cinética en el rodete debido al movimiento de rotación producido por el eje de un motor eléctrico. Los álabes desprenden tangencialmente el fluido mediante su fuerza centrífuga y lo conducen hacia la cámara de presión. El fluido presurizado es encaminado desde la cámara de presión hacia el orificio de impulsión y, a través del difusor, hasta el exterior.

#### **4.5. TUBERÍAS**

Todos los componentes de la instalación se encuentran unidos mediante las tuberías, elemento lineal hueco, abierto por sus extremos, transporta los fluidos, configurando el circuito hidráulico.

En cualquier instalación, habrá como mínimo dos circuitos hidráulicos: el primario, compuesto por los colectores y el intercambiador de calor o acumulador solar, en el cual el fluido recoge la energía solar y la transmite al depósito de acumulación; y el secundario, que recoge la energía transferida desde el circuito primario hasta el sistema de energía convencional auxiliar.

Un aspecto importante es la diferenciación de los circuitos, sus requerimientos son completamente distintos, especialmente térmicos, por lo es necesario utilizar distintos materiales.

Los materiales usados son: cobre, hierro galvanizado, hierro negro y plásticos.

- Cobre: material utilizado en instalaciones de todo tipo, siendo el más aconsejable para instalaciones de energía solar. A igualdad de diámetro, la pérdida de carga es menor respecto a otros materiales, permitiendo usar diámetros menores para transportar la misma cantidad de líquido.
- Acero galvanizado: según la restricción del apartado 3.2.2 de la sección HE4 del CTE [3], si el agua alcanza una temperatura de 60 °C, no se admitirá la presencia de componentes de acero galvanizado.
- Acero negro: usado únicamente cuando se requieren grandes caudales, y de manera exclusiva en el circuito del primario, ya que al ser empleado en la conducción de A.C.S. se oxida, perjudicando de esta manera la potabilidad del agua.
- Tuberías de plástico: Tienen cualidades semejantes a las del cobre y su uso se está generalizando cada vez más.

Las tuberías, deben estar aisladas correctamente para evitar un menor rendimiento de la instalación a consecuencia de las pérdidas térmicas.

#### **4.6. VÁLVULAS**

Las válvulas son mecanismos utilizadas con el fin de impedir o controlar el paso del fluido por una tubería. Aquellas destinadas a cerrar o abrir el paso se denominan llaves, y las situadas en los puntos de consumo grifos.

El apartado 3.4.6, de la Sección HE4, del DB HE del CTE [3], establece que la elección de las válvulas se realizará, según la función desempeñada y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), siguiendo los criterios especificado a continuación:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta.

Las válvulas de seguridad, por su importante función, deben ser capaces de derivar la potencia máxima del captador o grupo de captadores, incluso en forma de vapor, para que en ningún caso la presión máxima de trabajo del captador o del sistema se sobrepase, según prescribe el apartado 3.4.6, de la Sección HE4<sub>[3]</sub>.

Las características de los diferentes tipos de válvulas se enumeran a continuación:

- Válvulas de esfera o de bola: el elemento de cierre es una esfera con un orificio cilíndrico que cuando está orientado paralelamente al eje de la conducción el agua puede circular normalmente, obturando el paso cuando su posición es perpendicular.
- Válvulas de asiento: el cierre se realiza mediante un pistón o disco, llamado soleta, que se apoya sobre el asiento o sección de paso.
- Válvulas de asiento inclinado: es un dispositivo semejante al anterior, pero con los elementos de cierre en posición inclinada, permitiendo un paso más directo del fluido.

- Válvulas de macho cónico: constituidas por un cuerpo en el que se ajusta perfectamente una pieza cónica llamada “macho”, que puede girar alrededor de su eje y tiene un orificio transversal que cuando está alineado con la entrada y salida del fluido permite su paso, mientras que si se hace girar el macho hasta que su orificio quede en posición transversal el paso queda cerrado.
- Válvulas de compuerta: el elemento de cierre es una compuerta en forma de cuña que al descender se ajusta entre dos planos inclinados, impidiendo el paso del líquido. El cierre se produce perpendicularmente a la tubería sin obligar a un cambio de dirección del líquido al pasar por la válvula.
- Válvulas de clapeta: son las más utilizadas como válvulas de retención y están constituidas por una clapeta o compuerta articulada que deja pasar el agua en un sentido, marcado con una flecha, mientras que si se invierte el sentido de circulación la propia presión del agua empuja la clapeta contra el asiento impidiendo el retroceso del líquido.

Las válvulas están construidas con materiales muy diversos, debiendo ser compatibles con los materiales de las tuberías y los líquidos que conducen. Un buen criterio es utilizar el mismo material para la totalidad de los circuitos y accesorios.

#### **4.7. VASO DE EXPANSIÓN**

La función del vaso de expansión es compensar los cambios de volumen del fluido de trabajo ocasionados por la dilatación térmica, evitando el escape de fluido a través de la válvula de seguridad cuando éste se calienta.

Al calentarse el circuito primario, una parte del fluido entra en el vaso de expansión, regresando al circuito cuando se enfría, manteniendo así la presión en el circuito dentro del rango de presiones admisibles y siempre por encima de la atmosférica, impidiéndose la introducción de aire en el circuito cuando vuelva a enfriarse.

El vaso de expansión utilizado en instalaciones de circuito cerrado es un recipiente cerrado formado por dos semicuerpos fabricados por embutición y soldados entre sí. En el semicuerpo inferior hay una válvula para controlar la presión en el interior del vaso. Entre los dos semicuerpos se coloca una membrana interior que suele ser de caucho sintético y que separa el aire y el líquido.

El esquema del funcionamiento del vaso de expansión viene explicada en la figura 4.7.

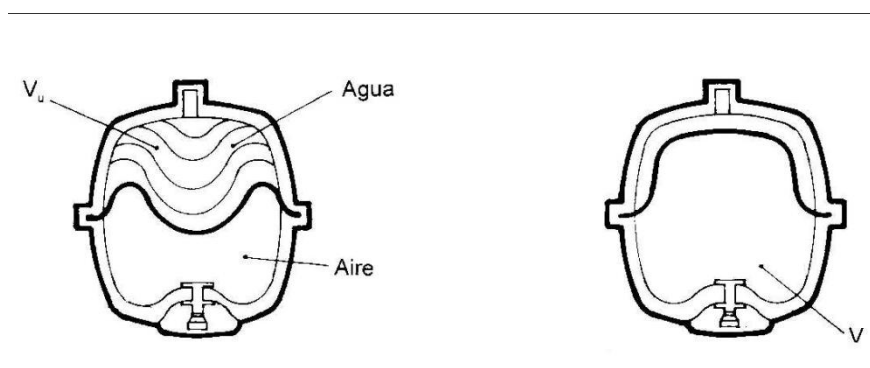


Figura 4.7: Funcionamiento de un vaso de expansión cerrado. A la izquierda, funcionamiento en caliente. A la derecha, en frío. [5]

#### 4.8. PURGADORES

Los purgadores son dispositivos instalados en los circuitos para dejar salir el aire que pudiera introducirse en las tuberías. La presencia de aire perjudica el buen funcionamiento de los circuitos, concretamente si al concentrarse en forma de bolsas impidiendo la circulación del fluido.

Los purgadores pueden ser de dos tipos:

- De accionamiento manual, en los que se acumula el aire pero no sale hasta que se afloja la válvula existente.
- De accionamiento automático, que dejan salir el aire cuando se acumula una cierta cantidad.

También pueden montarse desaireadores, dispositivos que originan una perturbación del flujo del fluido, favoreciendo la separación del aire, que se acumula en su parte superior donde está situado un purgador para su extracción.

El apartado 3.3.5.5 de la Sección HE4, del DB HE del CTE [3] establece, que en los puntos altos de la salida de baterías de captadores y aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se deben colocar sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. El volumen útil del botellín podrá disminuirse si se instala a la salida del circuito solar y antes del intercambiador un desaireador con purgador automático.

El apartado 3.4.8 de la Sección HE4, del DB HE del CTE [5] indica, que se evitará el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito. Recomendando utilizar purgadores manuales para el circuito primario, ya que existe la posibilidad de formación de vapor.

#### **4.9. SISTEMA DE CONTROL**

El sistema de regulación y control se define como uno de los que conforman la instalación solar térmica para ACS en el apartado 3.2.1, de la Sección HE4, del DB HE del CTE [3], con la finalidad, por un lado de asegurar el funcionamiento del equipo proporcionando la máxima energía solar térmica posible y, por otro, de actuar como protección frente a la acción de múltiples factores como sobrecalentamientos del sistema, riesgos de congelaciones, etc.

Las funciones se detallan en el apartado 3.3.7, de la Sección HE4, del DB HE del CTE [3], Sistema de control, especificando:

- El sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprenderá el control de

funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas, etc.

- En circulación forzada, el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito de captadores, deberá ser siempre de tipo diferencial y, en caso de que exista depósito de acumulación solar, deberá actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de los captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2 °C.
- Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.
- El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.
- El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superiores a la de congelación del fluido.
- Alternativamente al control diferencial, se podrán usar sistemas de control accionados en función de la radiación solar.

- Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías, bombas de circulación, o por combinación de varios mecanismos.

En general, para realizar una correcta regulación diferencial habrá que realizar una lectura entre la zona más caliente del circuito primario y la zona más fría del acumulador.

La parte más caliente del circuito primario es la parte superior de los colectores y la zona más fría la zona inferior del acumulador, zonas donde deben situarse los sensores de temperatura, ya que la diferencia de temperaturas necesaria para transferir energía se establecerá primeramente entre estos dos puntos.

El accionamiento de las bombas y, la existencia o no de sistemas de control complementarios en otros circuitos, o en el de suministro de ACS, dependerá de los esquemas concretos de la instalación.



## **5. CALCULO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA**

### **5.1. CÁLCULO DE CONSUMO DE A.C.S.**

#### **5.1.1. DATOS DE PARTIDA**

Se usará como datos de partida para el dimensionado y cálculo de la instalación de los paneles solares térmicos para A.C.S. dos grupos de parámetros que definen las condiciones de uso y climáticas.

#### **5.1.2. CONDICIONES DE USO**

Según especifica el Pliego de Condiciones Técnicas de Baja Temperatura (Instalaciones de Energía Solar Térmica) publicado por el IDAE [1], las condiciones de uso están definidas por la demanda energética requerida por la instalación, según los diferentes tipos de consumo:

- Para aplicaciones de A.C.S., la demanda energética se determina en función del consumo de agua caliente, siguiendo lo especificado en el Anexo IV del PCT de la Sección HE4, del DB .
- Para aplicaciones de calentamiento de piscinas, la demanda energética se calcula en función de las pérdidas de la misma, siguiendo lo recogido en el Anexo IV del PCT [1].
- Para aplicaciones de climatización (calefacción y refrigeración), la demanda energética viene dada por la carga térmica del habitáculo a climatizar, calculándose según lo especificado en el RITE. [2]
- Para aplicaciones de uso industrial se tendrá en cuenta la demanda energética y potencia necesaria, realizándose un estudio específico y pormenorizado de las necesidades, definiendo claramente si es un proceso discreto o continuo y el tiempo de duración del mismo.

- Para instalaciones combinadas se realizará la suma de las demandas energéticas sobre base diaria o mensual, aplicando si es necesario factores de simultaneidad.

En el caso que se va a estudiar, como la instalación está dedicada exclusivamente a producir A.C.S. se usará a modo de guía las condiciones especificadas en el Anexo IV del PCT. [1]

### **5.1.3. DATOS DE CONSUMO DE A.C.S.**

Para poder calcular la demanda A.C.S. es necesario tener en cuenta el volumen de consumo diario y las temperaturas de uso y de agua proveniente de la red.

En aquellas instalaciones existentes en las que se disponga de datos de consumo medidos en ocasiones anteriores, se utilizarán estos datos previa justificación de los mismos.

En aquellas instalaciones, nuevas o existentes, en las que se conozca los datos de consumo de instalaciones similares, podrán utilizarse éstos, previa justificación (Siendo conveniente realizar tomas de datos de consumo de agua caliente, en el caso de que no los hubiera).

En caso de no se disponga de dichos datos, se utilizarán para los consumos unitarios expresados en la tabla 5.1, tomando como temperatura de referencia, la temperatura de 60 °C.

Por ello, se adopta una temperatura de referencia o de salida del acumulador solar de 60 °C, tomando las precauciones necesarias para prevenir la aparición de la bacteria Legionella (aislando el circuito y calentándolo hasta 70° durante el tiempo necesario dos veces al año).

El Código Técnico de la Edificación en su documento HS4 (Suministro de aguas) en el apartado 2.1.3 punto 4, expone:

*“La temperatura de ACS en los puntos de consumo debe estar comprendida entre 50 y 65° excepto en las instalaciones ubicadas en edificios dedicados a uso exclusivo de vivienda, siempre que ésta no afecte al ambiente exterior de dichos edificios.”* [3]

Si en vez de tomar usar la temperatura de 60 ° C como referencia se escoge otra temperatura como tal. Se usara el siguiente factor, multiplicándolo por los datos de la tabla 5.1

$$(60^{\circ} \text{C} - t^{\circ}_{\text{F}}) / (t^{\circ} - t^{\circ}_{\text{F}})$$

Siendo:

$t^{\circ}_{\text{F}}$  = temperatura de red existente en la localidad.

$t^{\circ}$  = temperatura nueva escogida como temperatura de referencia.

En el proyecto, como se trata de una vivienda unifamiliar aislada, se cogerá como consumo por persona el caudal de 30 litros por día, de acuerdo a lo especificado en la tabla 5.1.

Tabla 5.1: Relación entre el criterio de consumo y el consumo de A.C.S./día. [3]

<i>Criterio de consumo</i>	<i>Litros/día</i>
Viviendas unifamiliares	30 por persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona
Hospitales y clínicas	55 por cama
Hoteles (4 estrellas)	70 por cama
Hoteles (3 estrellas)	55 por cama
Hoteles/Hostales (2 estrellas)	40 por cama
Campings	40 por emplazamiento
Hostales/Pensiones (1 estrella)	35 por cama
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	55 por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15 por servicio
Escuelas	3 por alumno
Cuarteles	20 por persona
Fábricas y talleres	15 por persona
Oficinas	3 por persona
Gimnasios	20 a 25 por usuario
Lavanderías	3 a 5 por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10 por comida
Cafeterías	1 por almuerzo

5.1.4. NÚMERO DE PERSONAS EN LA VIVIENDA

El número de personas se calculará de acuerdo a los valores mínimos que vienen en la tabla 5.2, teniendo en cuenta el número de dormitorios en la casa.

Tabla5.2: Relación entre el número de personas y el número de dormitorios que posea la vivienda. [3]

<i>Nº de dormitorios</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	Más de 8
<i>Nº de personas</i>	1,5	3	4	6	7	8	9	9	Igual que el número de dormitorios

Como la vivienda del proyecto posee 6 dormitorios (contando tanto el desván como el despacho como posibles dormitorios), el número de personas que se va a contabilizar en los cálculos son 8 habitantes en la casa.

**5.1.5. TEMPERATURA DEL AGUA DE LA RED GENERAL EN FUNCIÓN DE LA PROVINCIA**

Para el cálculo de la carga de consumo, los valores orientativos de temperatura de agua fría se indican en la tabla 5.3. También se pueden considerar los indicados en la norma UNE 94002.

La utilización de otros datos de temperaturas de agua fría tendrá que ser justificada indicando la procedencia y proceso de obtención de los mismos. Los datos usados en este proyecto están reflejados en la tabla 5.3.

Tabla 5.3: Datos de temperatura del agua de la red general, en ° C, en la provincia de Salamanca. [3]

PROVINCIA SALAMANCA	
Mes	Temperatura de la red
Enero	5
Febrero	6
Marzo	8
Abril	10
Mayo	11
Junio	12
Julio	13
Agosto	12
Septiembre	11
Octubre	10
Noviembre	8
Diciembre	5
Anual	9,3

5.1.6. CÁLCULO DE DEMANDA ENERGÉTICA MENSUAL Y ANUAL PARA PRODUCIR A.C.S.

Teniendo en cuenta los apartados anteriores, en la tabla 5.4 aparece un resumen de los datos recopilados.

Tabla 5.4: Resumen de datos obtenidos en apartados anteriores.

Número total de viviendas	1
Viviendas con 6 dormitorios	1
Número de habitantes en vivienda de 6 dormitorios	8
Número de habitantes	8
Consumo medio por usuario (litros/día)	30
Consumo estimado (litros/ día)	240
Factor de simultaneidad (0 - 1)	1
Consumo estimado total (litros/ día)	240
Temperatura de utilización (°C)	60

El caudal de consumo diario a 60 °C de todos los usuarios será igual a:

$$\begin{aligned} C &= N^{\circ}personas \times Consumo\ usuario = 8\ personas \times 30\ \frac{litros}{usuario} \\ &= 240\ \frac{litros}{día} \end{aligned}$$

Para poder calcular la demanda energética, tanto mensual como anual, (cantidad de calor) necesaria para obtener A.C.S. destinada a uso doméstico, se usará la siguiente expresión:

$$Qa = C_e \times C \times N \times (t^{\circ}_{ac} - t^{\circ}_r)$$

Donde:

$Q_a$  = Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (J/mes).

$C_e$  = Calor específico (para el agua  $4187 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$ ).

$C$  = Consumo diario de A.C.S. (kg/día).

$t_{ac}^\circ$  = Temperatura del agua caliente de acumulación ( $^\circ\text{C}$ ).

$t_r^\circ$  = Temperatura del agua de red ( $^\circ\text{C}$ ).

$N$  = Número de días del mes.

En el caso que se usen las calorías como unidad de calor, el valor del calor específico del agua será  $1000 \text{ calorías/(kg}^\circ\text{C)}$ .

El valor de la densidad del agua es igual a  $1 \text{ kg / dm}^3$ .

Aplicando la expresión anterior a los datos que aparecen en la tabla 5.5, se obtiene los datos de los consumos mensuales y anuales de A.C.S. y de la demanda energética en relación a los consumos anteriores.

Tanto en la tabla 5.6, como en la figuras 5.1, 5.2, y 5.3 están expresados los resultados obtenidos después de realizar los cálculos.

Tabla 5.5: Resultados obtenidos aplicando la expresión carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (I)

Mes	Días	Consumo mensual A.C.S. (m <sup>3</sup> )	Consumo mensual A.C.S. (litros)
Enero	31	7,44	7440
Febrero	28	6,72	6720
Marzo	31	7,44	7440
Abril	30	7,2	7200
Mayo	31	7,44	7440
Junio	30	7,2	7200
Julio	31	7,44	7440
Agosto	31	7,44	7440
Septiembre	30	7,2	7200
Octubre	31	7,44	7440
Noviembre	30	7,2	7200
Diciembre	31	7,4	7440
Anual	30	87,6	87 600

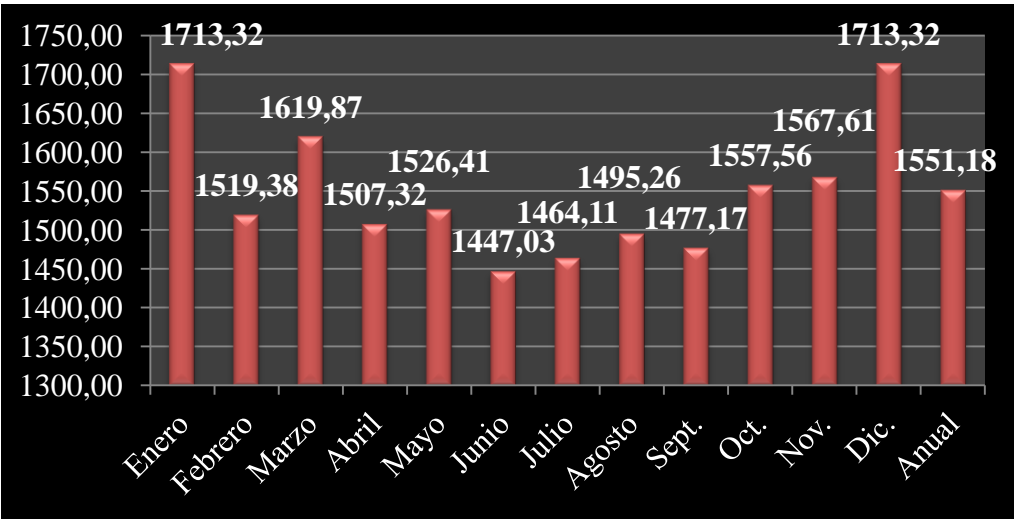


Figura 5.1 Carga calorífica calentamiento de A.C.S. (J/mes).



Tabla 5.6: Resultados obtenidos aplicando la expresión carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (II)

Mes	Incremento T <sup>a</sup> (°C)	Carga calorífica de calentamiento de A.C.S. (kWh/mes)	Carga calorífica de calentamiento de A.C.S. (J/mes)
Enero	55	474,67	1713,32
Febrero	54	420,94	1519,38
Marzo	52	448,78	1619,87
Abril	50	417,60	1507,32
Mayo	49	422,89	1526,41
Junio	48	400,90	1447,03
Julio	47	405,63	1464,11
Agosto	48	414,26	1495,26
Septiembre	49	409,25	1477,17
Octubre	50	431,52	1557,56
Noviembre	52	434,30	1567,61
Diciembre	55	474,67	1713,32
Anual	50,8	429,62	1551,18

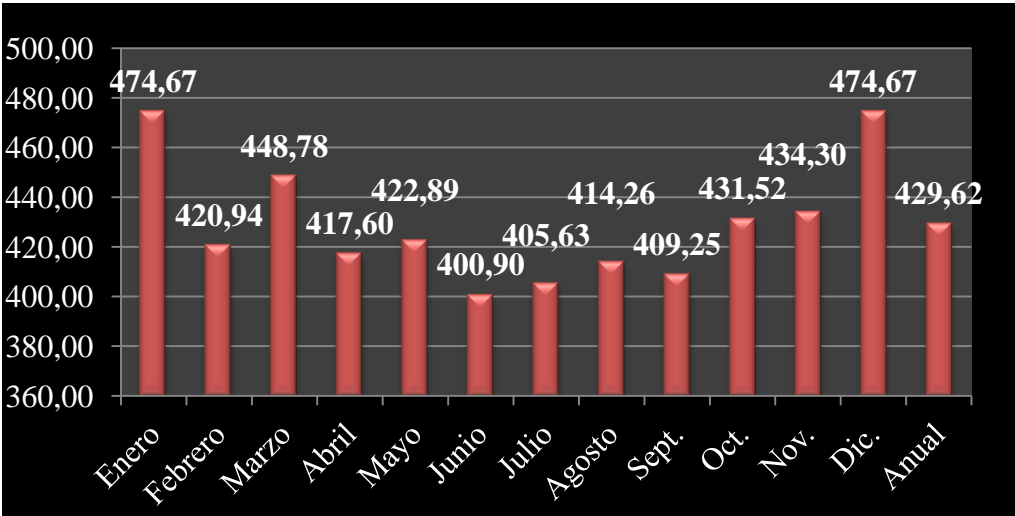


Figura 5.2: Carga calorífica de calentamiento de A.C.S. (kWh/mes)

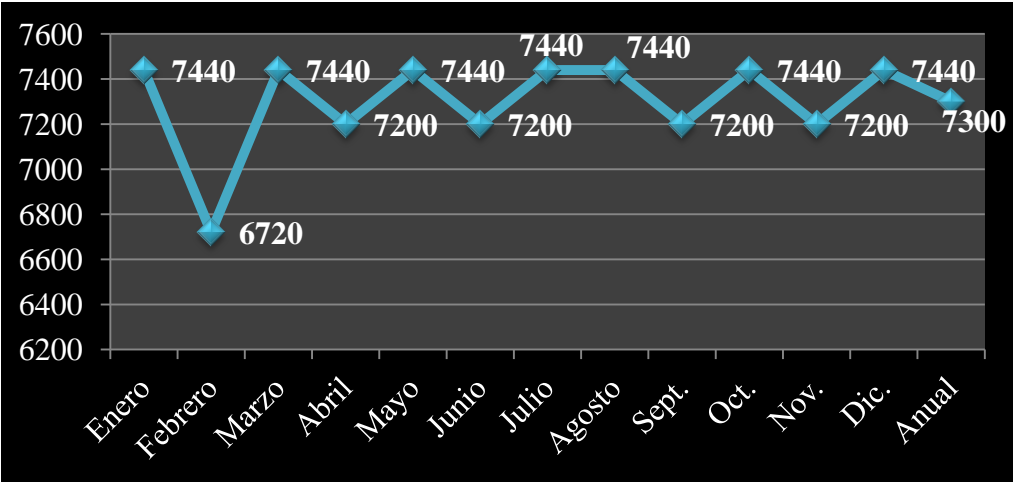


Figura 5.3: Consumo mensual de A.C.S. (litros).

5.2. DIMENSIONADOS PANELES SOLARES TÉRMICOS

5.2.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS

La fracción solar mínima, según se define en el CTE, es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada por la instalación solar térmica y la demanda energética anual para el calentamiento de A.C.S. obtenidos a partir de los valores mensuales, los cuales han sido calculados en los apartados anteriores.

Dependiendo de la zona de España donde se desee ubicar el proyecto, el CTE exige un porcentaje mínimo de fracción solar para dicha instalación. En la figura 5.4, se puede ver el mapa de España dividida en diferentes zonas según las exigencias de fracción solar mínima y los límites de zonas homogéneas en función de la exigencia de fracción solar mínima.

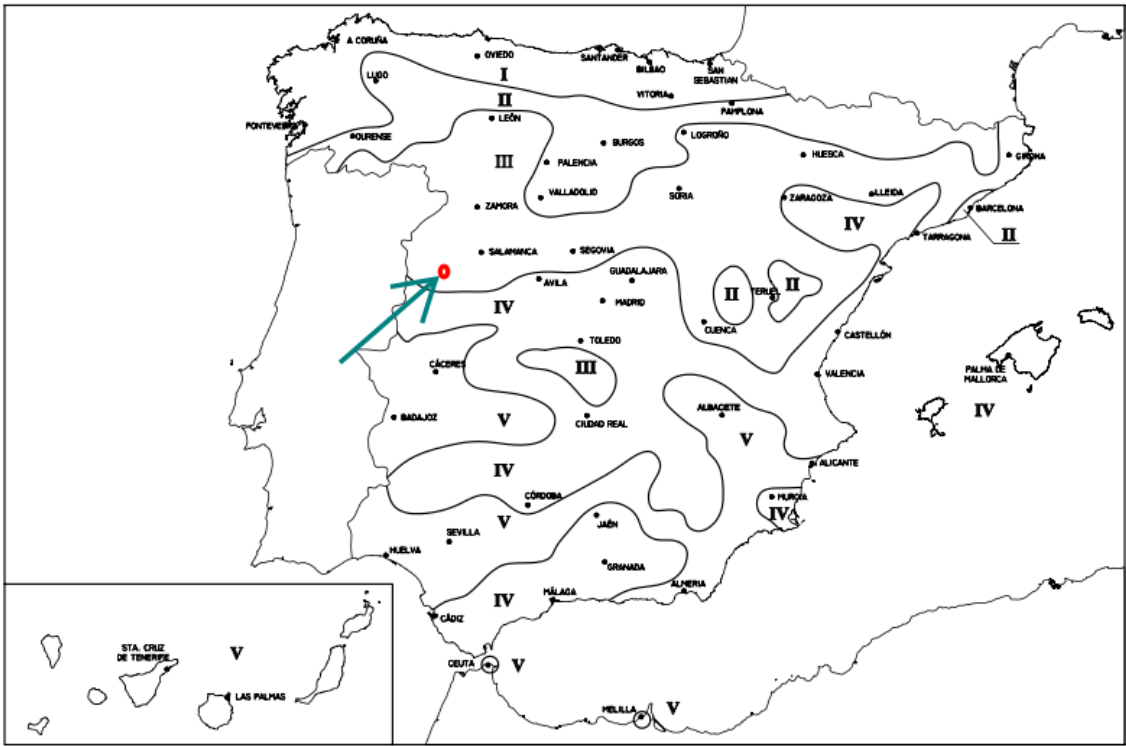


Figura 5.4: Mapa de zonas climáticas según fracción solar mínima. [1]

Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Tabla 5.7: Límites de zonas homogéneas en función de las exigencias de fracción solar mínima. [1]

Según los datos que aparecen en la tabla 5.7 y 5.8, la zona climática del proyecto correspondería con la zona III. Con este dato, en la tabla 5.8, se hallará la fracción solar mínima exigida según el CTE para la zona III.

Antes de esto, habría que considerar los siguientes casos, dependiendo del tipo de sistema de apoyo:

- General: suponiendo que la fuente energética de apoyo sea gasóleo, propano, gas natural, u otras.
- Efecto Joule: suponiendo que la fuente energética de apoyo sea electricidad mediante efecto Joule.

En el caso particular, el sistema de apoyo será mediante una caldera de combustión de gas. Por lo tanto, habrá que utilizar los datos aportados en la figura 5.8, en la que se especifica los valores de fracción mínima exigida para un sistema de apoyo de tipo general, en función de la demanda requerida de A.C.S.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Tabla 5.8: Valores de fracción mínima exigida para un sistema de apoyo de tipo general, en función de la demanda requerida de A.C.S. [1]

En el proyecto, la fracción solar mínima exigida por el CTE debería alcanzar un valor de 50 % de la demanda energética anual requerida para la producción de A.C.S.

Hay que tener en cuenta, que según se expone en el CTE, el dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación solar térmica podrá superar el 110 % de la demanda energética, y en no más de tres meses el 100 %. A estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda energética se sitúe un 50 % por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección.

5.2.2. RADIACIÓN HORIZONTAL RECIBIDA

Se definirá como irradiación solar, a la energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia solar (potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado) durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se mide en kWh/m<sup>2</sup>.

Como el proyecto está localizado en la provincia de Salamanca, en la tabla 5.9 están recogidos los datos de la radiación horizontal para la provincia de Salamanca.

Tabla 5.9: Datos de radiación horizontal, en kiloJulios/ m<sup>2</sup>/ día, en la provincia de Salamanca. [3]

PROVINCIA SALAMANCA	
Mes	Radiación horizontal
Enero	6100
Febrero	9500
Marzo	13 500
Abril	17 100
Mayo	19 700
Junio	22 800
Julio	24 600
Agosto	22 600
Septiembre	17 500
Octubre	11 300
Noviembre	7400
Diciembre	5200
Anual	14 775

**5.2.3. FACTORES CORRECTORES POR INCLINACIÓN,  
ORIENTACIÓN Y SOMBRAS**

Para poder hallar la radiación inclinada recibida, primero se necesita obtener un factor de corrección por inclinación de los paneles. Esto es debido a que al darle una inclinación al panel, los rayos solares incidirán de manera perpendicular o en un ángulo aproximado, permitiendo que el captador pueda aprovechar una mayor cantidad de energía. Este factor se obtiene de la figura 5.5.

Latitud = 41°

Inc	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.07	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02	1.02	1.03	1.05	1.08	1.09	1.09
10	1.14	1.12	1.09	1.06	1.03	1.02	1.03	1.06	1.1	1.15	1.18	1.17
15	1.21	1.17	1.12	1.07	1.04	1.03	1.04	1.08	1.14	1.21	1.26	1.24
20	1.26	1.21	1.15	1.08	1.04	1.02	1.04	1.09	1.17	1.27	1.33	1.31
25	1.31	1.24	1.17	1.09	1.03	1.01	1.03	1.1	1.2	1.32	1.39	1.37
30	1.35	1.27	1.18	1.08	1.01	.99	1.02	1.09	1.21	1.35	1.44	1.42
35	1.38	1.29	1.18	1.07	.99	.96	.99	1.08	1.22	1.38	1.49	1.47
40	1.4	1.3	1.18	1.05	.96	.93	.96	1.06	1.22	1.4	1.52	1.5
45	1.42	1.3	1.16	1.03	.93	.89	.93	1.04	1.21	1.41	1.55	1.52
50	1.42	1.3	1.14	.99	.88	.84	.88	1.01	1.19	1.41	1.56	1.54
55	1.42	1.28	1.12	.95	.83	.79	.84	.97	1.17	1.41	1.57	1.54
60	1.41	1.26	1.08	.91	.78	.73	.78	.92	1.14	1.39	1.56	1.54
65	1.39	1.23	1.04	.85	.72	.67	.72	.87	1.09	1.36	1.54	1.53
70	1.36	1.19	.99	.8	.66	.61	.66	.81	1.04	1.32	1.52	1.5
75	1.32	1.15	.94	.73	.59	.54	.59	.74	.99	1.28	1.48	1.47
80	1.28	1.1	.88	.67	.52	.46	.52	.67	.93	1.23	1.44	1.43
85	1.23	1.04	.82	.6	.44	.39	.44	.6	.86	1.16	1.38	1.38
90	1.17	.98	.74	.52	.36	.31	.36	.52	.78	1.09	1.32	1.32

Figura 5.5: Factor de corrección por inclinación para una latitud de 41°. [1]

Hay que tener en cuenta, el ángulo de inclinación que deberían tener los paneles solares. Según el CTE, se considerará como la orientación optima el sur y la inclinación óptima, dependiendo del periodo de utilización de los paneles solares, uno de los valores siguientes:

- Demanda constante anual = la latitud geográfica.
- Demanda preferente en invierno = la latitud geográfica + 10°.
- Demanda preferente en verano = la latitud geográfica – 10°.

Como se quiere obtener el mayor porcentaje posible de energía aportada por la instalación durante el invierno, debido a que el mayor consumo se producirá durante el invierno (peores condiciones meteorológicas) siendo en verano la época con menor demanda de A.C.S.

Teniendo en cuenta este último aspecto, la inclinación adoptada para la instalación será aproximadamente de 50 °, ya que la latitud de la localidad es de 41° aproximadamente.

Como el ángulo de inclinación que tendrá los paneles solares es de 50°, según la figura 5.5, el factor de corrección por inclinación para los meses del año, correspondería a los valores de la tabla 5.10.

Este factor de corrección es para aquellos paneles que estén orientados hacia el sur; en el caso, que se desvíe un cierto ángulo del sur, ángulo de referencia (se escogerá como 0° grados), habrá que multiplicarlo también por un factor corrector por orientación.

Dicho factor se obtendrá mediante la expresión:

$$K_{\text{orientación}} = 1 - (3,5 \times 10^{-5} \times \alpha^2)$$

Siendo:

$\alpha$  = la orientación con respecto al sur; siendo positivo hacia el oeste y negativo hacia el este.

Como los paneles están orientados 45° grados dirección suroeste, el factor corrector por orientación sería igual a:

$$K_{\text{orientación}} = 1 - (3,5 \times 10^{-5} \times \alpha^2) = 1 - (3,5 \times 10^{-5} \times 45^2) = 0,93.$$

Tabla 5.10: Factor corrector para una inclinación de 50 °, para una latitud de 41°. [3]

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
K <sub>inclinación</sub>	1,42	1,28	1,12	0,95	0,83	0,79	0,84	0,97	1,17	1,41	1,57	1,54

Como en el caso propuesto en el proyecto, al ser una casa aislada que no se encuentra rodeado por ningún tipo de obstáculo que pudiera interferir con su sombra en los paneles, el factor corrector por sombras será igual a  $K_{\text{sombras}} = 1$ .



En algunos casos, se podría aplicar un factor corrector por la calidad y limpieza del aire.

- Si la instalación se sitúa en una zona de una gran urbe o ciudad, con aire muy sucio y de poca calidad, habrá que usar un factor igual a  $K = 0,95$ .
- Si la instalación se ubica en una zona de montaña o con aire limpio y de gran calidad, habrá que usar un factor igual a  $K = 1,05$ .

#### **5.2.4. RADIACIÓN INCLINADA RECIBIDA**

Una vez conocidos los factores de corrección que se van a aplicar, se puede obtener el valor de la radiación inclinada que se obtendría sobre los paneles solares. La expresión que se utilizaría sería:

$$R_1 = R_{\text{inclinada}} = K_{\text{total}} \times R_{\text{horizontal}}$$

Estos valores se especifican en la tabla 5.11.

Tabla 5.11: Tabla radiación horizontal, factores correctores, radiación inclinada. [3]

PROVINCIA SALAMANCA							
Mes	Radiación horizontal (kJ/día)	Factor inclinación	Factor orientación	Factor sombra	Factor total	Radiación inclinada (kJ/día)	Radiación inclinada (kWh/día)
Enero	6100	1,42	0,93	1,00	1,32	8,05	69,30
Febrero	9500	1,28	0,93	1,00	1,19	11,30	87,87
Marzo	13 500	1,12	0,93	1,00	1,04	14,05	120,97
Abril	17 100	0,95	0,93	1,00	0,88	15,09	125,78
Mayo	19 700	0,83	0,93	1,00	0,77	15,19	130,82
Junio	22 800	0,79	0,93	1,00	0,73	16,74	139,46
Julio	24 600	0,84	0,93	1,00	0,78	19,20	165,33
Agosto	22 600	0,97	0,93	1,00	0,90	20,37	175,39
Septiembre	17 500	1,17	0,93	1,00	1,09	19,02	158,53
Octubre	11 300	1,41	0,93	1,00	1,31	14,80	127,48
Noviembre	7400	1,57	0,93	1,00	1,46	10,79	89,95
Diciembre	5200	1,54	0,93	1,00	1,43	7,44	64,07
Anual	14 775	1,16	0,93	1,00	1,08	14,34	121,25

5.2.5. MÉTODO DE CÁLCULO F - CHART

En el proyecto se va a usar el método F – Chart. En el PCT del IDAE [1] es el método escogido para el cálculo. Existen diferentes métodos para obtener la energía aportada por los paneles solares térmicos.

Deberá adoptarse el método más adecuado a las características de la instalación solar. El tamaño y complejidad de la misma será el principal condicionante para elegir un método simplificado que no requiera gran nivel de detalle para la definición de las bases de cálculo, y que en consecuencia sea relativamente sencillo su uso, o bien un método más detallado en el que se emplee un modelo de la instalación con todos sus componentes y se simule el comportamiento energético de dicha instalación con mayor número detalles.

Como ejemplo de método de cálculo simplificado, es el de las curvas  $f$  (F-Chart). Permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar o de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y del rendimiento medio en un período de tiempo largo.

Es aceptado como proceso de cálculo suficientemente exacto para estimaciones largas, por lo tanto no es apto para estimaciones de tipo semanal o diario.

Es perfectamente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones mediante captadores solares planos.

La ecuación utilizada en este método es:

$$f = 1,029D_1 - 0,065 D_2 - 0,245 D_1^2 + 0,0018 D_2^2 + 0,0215 D_1^3$$

Los pasos a seguir en este método son:

- Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de A.C.S. o calefacción.
- Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
- Cálculo del parámetro  $D_1$ .
- Cálculo del parámetro  $D_2$ .
- Cálculo del parámetro  $f$ .
- Valoración de la cobertura solar mensual.
- Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

### 5.2.6. CÁLCULO DEL PARÁMETRO $D_1$

El parámetro  $D_1$  expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$D_1 = \text{Energía absorbida por el captador} / \text{Carga calorífica mensual.}$

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_a = S_c \times F_r'(\tau\alpha) \times R_1 \times N$$

Donde:

$S_c$  = Superficie del captador (m).

$R_1$  = Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kJ/m).

$N$  = Número de días del mes.

$F_r'(\tau\alpha)$  = Factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión:

$$F_r'(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \times [(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n] \times (F_r'/F_r)$$

Donde:

$F_r(\tau\alpha)_n$  = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

$(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$  = Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) ó 0,94 (superficie transparente doble).

$(F_r'/F_r)$  = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

Para poder utilizar las expresiones anteriores, es necesario conocer las características técnicas de los paneles solares. Estas características vienen recogidas en la tabla 5.12.

Tabla 5.12: Características técnicas propias del captador. [12]

Marca	FERROLI
Modelo	ECOTOP V
Superficie del captador	2,23
Factor de eficiencia óptica	0,788
Coefficiente de pérdidas de 1 <sup>er</sup> orden	3,955
Coefficientes de pérdidas de 2 <sup>o</sup> orden	0,006

En la tabla 5.13, se recogen los datos que servirán como condiciones iniciales para el cálculo del parámetro  $D_1$ .

Tabla 5.13: Datos de partida para el cálculo del parámetro  $D_1$ .

Mes	Radiación inclinada (kJ/día)	Radiación inclinada (kWh/día)	Días	Factor adimensional $F_r'(\tau\alpha)$
Enero	8,05	69,30	31	0,72
Febrero	11,30	87,87	28	0,72
Marzo	14,05	120,97	31	0,72
Abril	15,09	125,78	30	0,72
Mayo	15,19	130,82	31	0,72
Junio	16,74	139,46	30	0,72
Julio	19,20	165,33	31	0,72
Agosto	20,37	175,39	31	0,72
Septiembre	19,02	158,53	30	0,72
Octubre	14,80	127,48	31	0,72
Noviembre	10,79	89,95	30	0,72
Diciembre	7,44	64,07	31	0,72
Anual	14,34	121,25	30	0,72

En la tabla 5.14, se especifica los resultados obtenidos al hallar el parámetro D<sub>1</sub>.

Tabla 5.14: Cálculo parámetro D<sub>1</sub>.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Parámetro D <sub>1</sub>	0,42	0,67	0,86	0,97	0,99	1,12	1,31	1,36	1,24	0,95	0,66	0,43	0,92

5.2.7. CÁLCULO DEL PARÁMETRO D<sub>2</sub>

El parámetro D<sub>2</sub> expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$D_2 = \text{Energía perdida por el captador} / \text{Carga calorífica mensual.}$

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$E_p = S_c \times F_r' \times U_L \times (100 - t_a) \times \Delta_t \times K_1 \times K_2$

Donde:

S<sub>c</sub> = Superficie del captador (m<sup>2</sup>).

t<sub>a</sub> = Temperatura media mensual del ambiente durante las horas diurnas.

Δ<sub>t</sub> = Período de tiempo considerado, en segundos (s).

$F_r' \times U_L = F_r \times U_L \times (F_r' / F_r)$

Siendo:

F<sub>r</sub> U<sub>L</sub> = Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador).

K<sub>1</sub> = Factor de corrección por almacenamiento, que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$K_1 = [\text{kg acumulación} / (75 S_c)]^{-0,25}$

Donde:

$37,5 < (\text{kg acumulación}) / (\text{m}^2 \text{ captación}) < 300$

$K_2$  = Factor de corrección, para A.C.S., que relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$K_2 = (11,6 + 1,18 \, t_{ac} + 3,86 \, t_r - 2,32 \, t_a) / (100 - t_a)$

Siendo:

$t_{ac}$  = Temperatura mínima requerida del A.C.S.

$t_r$  = Temperatura del agua de red.

$t_a$  = Temperatura media mensual del ambiente durante las horas diurnas.

En la tabla 5.15, se expresan los datos de partida usados para el cálculo del parámetro  $D_2$ .

Tabla 5.15: Datos de partida para calcular el parámetro  $D_2$ .

Mes	Tª mínima A.C.S. (°C)	Tª media ambiente diurna (°C)	Tª media red (°C)	Período tiempo (seg.)	Factor $K_1$	Factor $K_2$
Enero	60	6	5	$2,68 \times 10^6$	0,86	0,93
Febrero	60	7	6	$2,42 \times 10^6$	0,86	0,96
Marzo	60	10	8	$2,68 \times 10^6$	0,86	1,00
Abril	60	13	10	$2,59 \times 10^6$	0,86	1,04
Mayo	60	16	11	$2,68 \times 10^6$	0,86	1,04
Junio	60	20	12	$2,59 \times 10^6$	0,86	1,03
Julio	60	24	13	$2,68 \times 10^6$	0,86	1,01
Agosto	60	23	12	$2,68 \times 10^6$	0,86	0,98
Septiembre	60	20	11	$2,59 \times 10^6$	0,86	0,98
Octubre	60	14	10	$2,68 \times 10^6$	0,86	1,03
Noviembre	60	9	8	$2,59 \times 10^6$	0,86	1,02
Diciembre	60	6	5	$2,68 \times 10^6$	0,86	0,93
Anual	60	14,0	9,3	$2,63 \times 10^6$	0,86	1,00

En la tabla 5.16 se especifica los resultados obtenidos al hallar el parámetro D<sub>2</sub>.

Tabla 5.16: Cálculo del parámetro D<sub>2</sub>.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Parámetro D <sub>2</sub>	0,42	0,67	0,86	0,97	0,99	1,12	1,31	1,36	1,24	0,95	0,66	0,43	0,92

5.2.8. FRACCIÓN SOLAR MENSUAL

Una vez obtenido D<sub>1</sub> y D<sub>2</sub>, aplicando la ecuación inicial se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar (fracción solar mensual).

La ecuación utilizada para hallar la fracción solar mensual es la siguiente:

$f = 1,029D_1 - 0,065 D_2 - 0,245 D_1^2 + 0,0018 D_2^2 + 0,0215 D_1^3$

En la tabla 5.17, se representan los valores obtenidos al calcular la fracción solar correspondiente a cada mes.

Tabla 5.17: Cálculo de la fracción solar mensual.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Fracción solar f (%)	36,71	52,01	65,18	71,30	73,00	80,50	90,96	93,70	87,79	70,33	51,16	33,81

5.2.9. ENERGÍA MENSUAL CAPTADA POR LAS PLACAS SOLARES

La energía útil captada cada mes, Q<sub>u</sub> vendría especificada según la expresión:

$Q_u = f \times Q_a$



Donde:

$Q_a$  = Carga calorífica mensual de A.C.S.

Los resultados obtenidos al utilizar la expresión anterior vienen reflejados en la tabla 5.18.

Tabla 5.18: Cálculo de la energía mensual captadas por las placas solares.

Mes	Energía captada (kWh)
Enero	174,26
Febrero	218,92
Marzo	292,54
Abril	297,75
Mayo	308,70
Junio	322,74
Julio	368,95
Agosto	388,15
Septiembre	359,29
Octubre	303,48
Noviembre	222,18
Diciembre	160,49

5.2.10. FRACCIÓN SOLAR ANUAL

Mediante igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año.

La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:

$$\text{Cobertura solar anual} = \sum_{u=1}^{u=12} Q_u / \sum_{u=1}^{u=12} Q_a$$

En el caso particular, la fracción solar anual alcanzará el porcentaje de **68,86 %**.

### **5.2.11. ENERGÍA ANUAL CAPTADA POR LAS PLACAS SOLARES**

El concepto de energía solar aportada al año, o energía anual captada por las placas solares, se refiere a la energía demandada satisfecha realmente por la instalación de energía solar. Esto significa que para su cálculo nunca podrá considerarse más de un 100 % de aporte solar en un determinado mes.

Para obtener la energía anual captada por las placas solares, se usará la misma expresión utilizada anteriormente para obtener la energía mensual captada por las placas.

$$Q_{\text{total anual}} = f \cdot Q_{\text{total mes}}$$

donde:

$$Q_{\text{total mes}} = \text{Carga calorífica total mensual de A.C.S.}$$

Realizando la operación anterior, se obtiene un resultado de **3.549,98 kWh**.

### **5.2.12. RENDIMIENTO MEDIO ANUAL**

La expresión utilizada para calcular el rendimiento medio anual de las placas solares.

$$\text{Rendimiento medio año "y"} = (\text{Energía solar aportada el año "y"} / \text{Irradiación incidente año "y"}) \times 100.$$

$$\text{Irradiación incidente año "y"} = \text{Suma de las irradiaciones incidentes de los meses del año "y"}.$$

$$\text{Irradiaciones incidentes en el mes "x"} = \text{Irradiación en el mes "x"} \times \text{Superficie captadora}.$$

Usando los datos de la instalación, se obtienen los valores de irradiación incidentes en el mes y en el año y el rendimiento medio anual usando las expresiones anteriores. Estos resultados vienen expresados en la tabla 5.19 y en la tabla 5.20.

Tabla 5.19: Cálculos del rendimiento medio anual e irradiación incidente año.

Rendimiento medio anual (%)	52,666 %
Irradiación incidente año (kWh)	6489,16

Tabla 5.20: Cálculos de irradiaciones incidentes mensuales.

Mes	Irradiación incidente mensual (kWh)
Enero	309,09
Febrero	391,92
Marzo	539,54
Abril	560,98
Mayo	583,46
Junio	622,00
Julio	737,37
Agosto	782,26
Septiembre	707,05
Octubre	568,55
Noviembre	401,20
Diciembre	285,75

En la tabla 5.21, se puede observar un resumen de los datos obtenidos después de realizar los cálculos.

Tabla 5.21: Resumen fracción solar anual y energía anual captada.

Fracción solar anual (%)	68,86
Energía anual total captada (kWh)	3549, 98
Energía media anual captada (kWh)	295,8
Rendimiento medio anual (%)	52,666

### 5.3. CUMPLIMIENTO NORMATIVA

En este apartado, se tendrá en cuenta las recomendaciones y obligaciones recogidas en la normativa de aplicación relacionada con las instalaciones de energía solar térmicas.

La normativa y reglamentación usada como referencia es la siguiente:

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus instrucciones técnicas complementarias (ITE) del Real Decreto 1751/1998. [2]
- Código Técnico de la Edificación (CTE), en particular, el documento básico de dicho código DB-HE4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria. [3]
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Térmicas de Baja Temperatura del IDAE. [1]

Estos dos últimos documentos, tienen en común el mismo tipo de requisitos y condiciones, por lo tanto se podrá usar un documento u otro indistintamente, obteniendo el mismo resultado. En este proyecto, se empleará como referencia el CTE, en lo referente al cumplimiento de la normativa.

- Normas UNE.

Tanto en el CTE como en el PCT del IDAE, se definen cuatro aspectos esenciales que deben cumplirse de manera obligatoria en cualquier instalación solar térmica.

### 5.3.1. LÍMITE MÁXIMO DE LA FRACCIÓN SOLAR OBTENIDA

En el CTE se expone que:

*“El dimensionado básico de una instalación, para cualquier aplicación, deberá realizarse de forma que en ningún mes del año la energía producida por la instalación solar supere el 110% de la demanda de consumo y no más de tres meses seguidos el 100 % “. [3]*

Independientemente del uso al que este destinada la instalación, si en algún momento incumple el apartado anterior, se tendrán que adoptar cualquiera de las siguientes medidas:

- Dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario).
- Tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador).
- Vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares debiendo incluirse este trabajo en ese caso entre las labores del contrato de mantenimiento.
- Desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.

Si en el caso de elegirse, la segunda solución y la tercera del apartado anterior, dentro del programa de mantenimiento deben programarse las operaciones a realizar consistentes en el vaciado parcial o tapado parcial del campo de captadores y reposición de las condiciones iniciales.

Estas operaciones se realizarán consecutivamente, una antes y otra después de cada periodo de sobreproducción energética. Estas soluciones se recomiendan solo en el caso, que el edificio tenga un programa de mantenimiento continuo.

En la situación, que el propósito de la instalación sea para una vivienda residencial y no sea posible escoger la cuarta opción, es recomendable elegir la primera opción.

Adicionalmente, a lo largo del año se vigilará la instalación para prevenir los posibles daños ocasionados por los periodos de sobrecalentamiento.

Como se puede comprobar en la tabla 5.22, en la instalación, en ningún mes del año se produciría un exceso de energía por encima del 100 %, y por lo tanto, no se supera en ningún momento el valor del 110 %.

Tabla 5.22: Cálculo de la fracción solar mensual.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Fracción solar f (%)	36,71	52,01	65,18	71,30	73,00	80,50	90,96	93,70	87,79	70,33	51,16	33,81

5.3.2. PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN, POR INCLINACIÓN Y POR SOMBRAS

Según define el CTE:

*“La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites expresados en la tabla 5.23”.* [3]

En la tabla 5.23, se consideran tres casos: general, superposición de módulos e integración arquitectónica.

Se considera que existe integración arquitectónica, cuando los módulos cumplen una doble función energética y arquitectónica, además sustituyen a elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica.

Tabla 5.23: Perdidas por orientación, inclinación y sombras. [3]

PERDIDAS (%)			
Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Se considera que existe superposición arquitectónica, cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal con el objetivo de favorecer el auto limpieza de los módulos.

Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

Se deben cumplir las tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites expresados en la tabla 5.23.

Se considera como la orientación optima el sur y la inclinación óptima, dependiendo del periodo de utilización al que se requiera la instalación, uno de los valores siguientes:

- Demanda constante anual: la latitud geográfica.
- Demanda preferente en invierno: la latitud geográfica + 10 °.
- Demanda preferente en verano: la latitud geográfica – 10 °.

En la situación particular, como se quiere que la instalación trabaje preferentemente en invierno. Por lo tanto, la inclinación que a adoptar será de:

$$\text{Inclinación óptima} = \text{Latitud geográfica} + 10^\circ = 41^\circ + 10^\circ = 51^\circ$$

En la instalación, la inclinación adoptada es de 50°, un valor muy próximo a 51°, que correspondería a la inclinación óptima para una demanda preferente en invierno.

### **5.3.3. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN**

El objetivo de este cálculo es obtener los límites en la orientación e inclinación de los módulos de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles.

Las pérdidas por inclinación y orientación se calcularán, teniendo en cuenta que:

- Ángulo de inclinación,  $\beta$ , se define como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0 para módulos horizontales y 90° para verticales.
- Ángulo de acimut,  $\alpha$ , se define como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Su valor es 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y +90° para módulos orientados al oeste.

En la figura 5.6 está explicado los conceptos de ángulo de inclinación y de acimut.



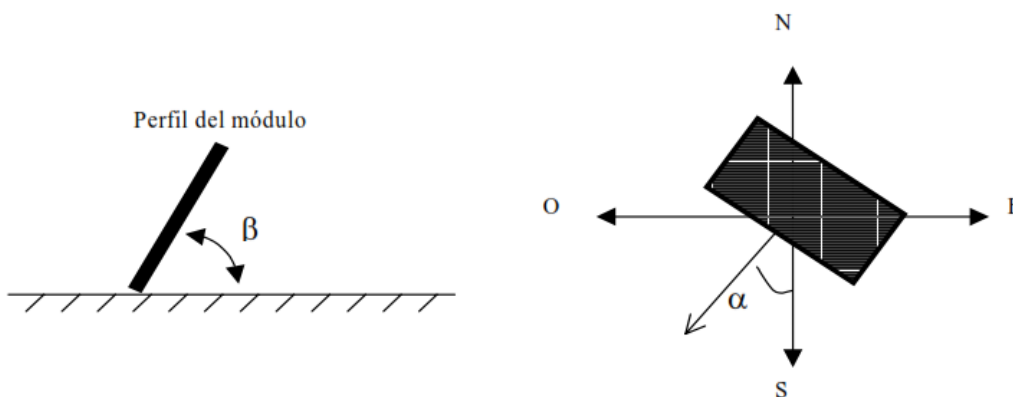


Figura 5.6: Orientación e inclinación de los paneles. [1]

Sabiendo el ángulo de acimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables, válido para una la latitud ( $\varphi$ ) de  $41^\circ$ , de la siguiente forma:

- Conocido el acimut, se determina en la figura 5.7 los límites para la inclinación en el caso ( $\varphi$ ) =  $41^\circ$ .

Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10%, para superposición del 20 % y para integración arquitectónica del 40%.

- Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de acimut proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.

Se corregirán los límites de inclinación aceptables, en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de  $41^\circ$ , de acuerdo a las siguientes fórmulas:

- Inclinación máxima = inclinación ( $\varphi = 41^\circ$ ) – ( $41^\circ$  - latitud).
- Inclinación mínima = inclinación ( $\varphi = 41^\circ$ ) – ( $41^\circ$ -latitud); siendo  $5^\circ$  su valor mínimo.

En casos cerca del límite y como instrumento de verificación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [ 1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{optima}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \alpha^2 ]$$

para  $15^\circ < \beta < 90^\circ$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [ 1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{optima}})^2 ]$$

para  $\beta \geq 15^\circ$

Aplicando en el proyecto, los pasos anteriores, se va a obtener el porcentaje de pérdidas por orientación y por inclinación.

Primero, se introducirán los datos de la instalación en la figura 5.7 para obtener los límites de inclinación.

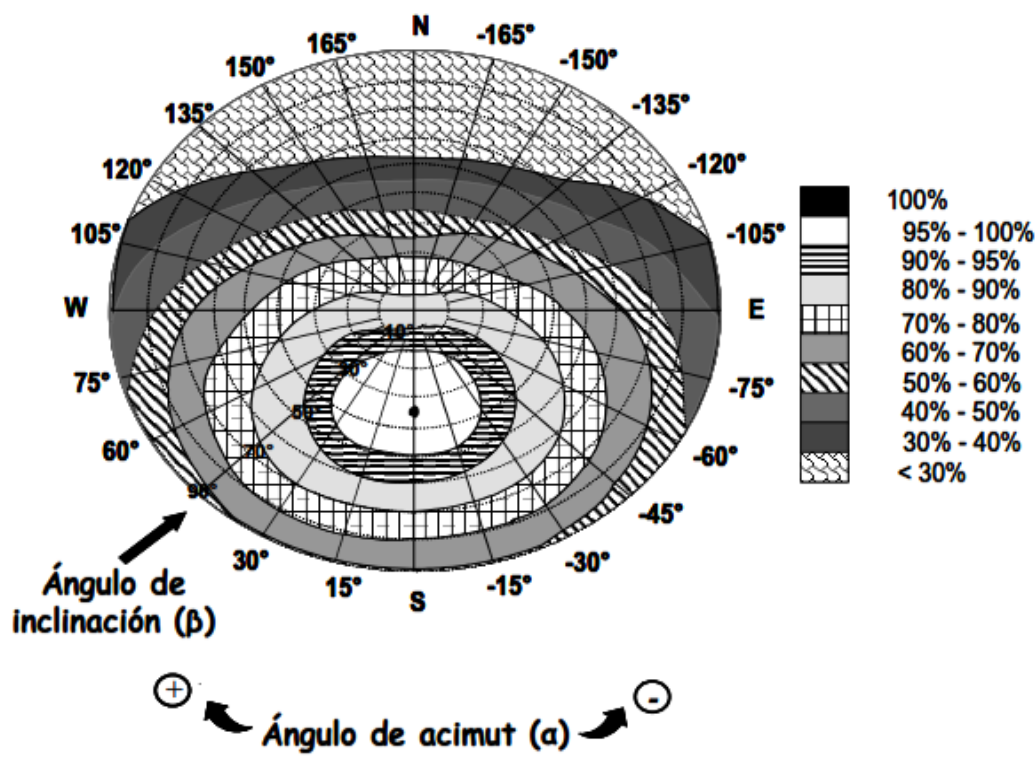


Figura 5.7: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. [1]

Se considerará el caso general, por lo tanto el porcentaje admisible será de un 10 % de pérdidas para inclinación y orientación, 10 % para pérdidas por sombra y un 15 % para pérdidas totales.

Al usar el valor del 10 % en la figura, los puntos de corte de la curva del porcentaje de 90 % – 95 % con la recta de inclinación de 50 ° corresponden al límite superior de 45° y de 10ª como límite mínimo.

Como la latitud geográfica corresponde a 41 °, no es necesario aplicar ninguna fórmula para corregir los límites obtenidos.

En principio, se puede observar que la inclinación se saldría fuera de los límites permitidos. Por lo tanto, usando la fórmula del porcentaje de pérdidas, se va a comprobar el resultado anterior.

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{optima}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \alpha^2]$$

para  $15^\circ < \beta < 90^\circ$

Usando esta fórmula, se obtiene un porcentaje de **7,1 %** de pérdidas por orientación e inclinación.

Como se puede observar, según esta fórmula las pérdidas obtenidas se encuentran por debajo del 10 % máximo permitido por la normativa.

En la figura 5.8, se observa el procedimiento gráfico usado para obtener las pérdidas por orientación e inclinación.

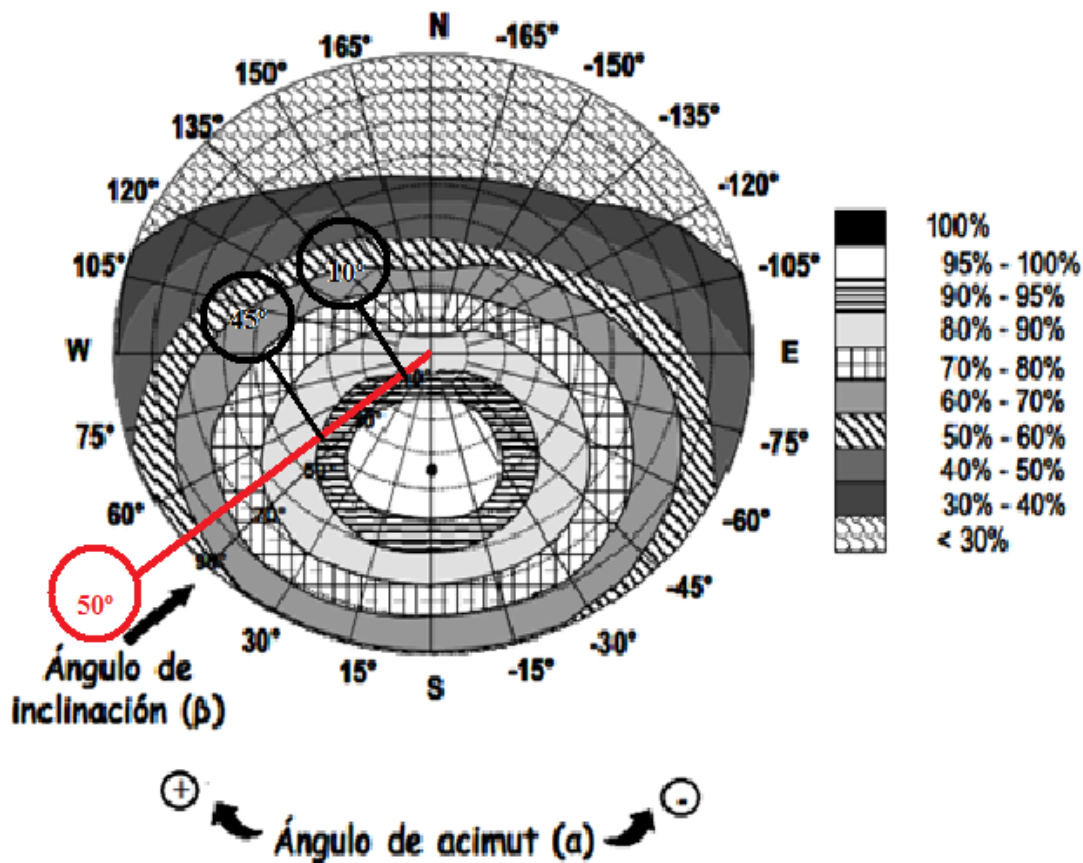


Figura 5.8: Cálculo de pérdidas por orientación e inclinación por método gráfico.

5.3.4. PÉRDIDAS DE RADIACIÓN SOLAR POR SOMBRAS

Como se ha especificado al comienzo de la memoria, en el apartado de antecedentes, no existe ningún elemento en los alrededores de la vivienda que pudiese arrojar algún tipo de sombra sobre los paneles solares.

Por lo tanto, teniendo en cuenta esto, se considerará el porcentaje de pérdidas por sombra igual a 0 %.

Tales pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie, de no existir sombra alguna.

El procedimiento para calcular dichas pérdidas consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del Sol.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Localización de los principales obstáculos que afectan a la superficie, en términos de sus coordenadas de posición acimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal)
- Representación del perfil de obstáculos en el diagrama, en el que se muestra la banda de trayectorias del sol a lo largo de todo el año, válido para localidades de la Península Ibérica y Baleares (para las Islas Canarias el diagrama debe desplazarse 12° en sentido vertical ascendente). Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2,..., D14).
- Cada una de las porciones representa el recorrido del sol en un cierto periodo de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio.

Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, en particular aquélla que resulte interceptada por el obstáculo. Debe escogerse para el cálculo la tabla de referencia más adecuada de aquellas proporcionadas en el CTE.

- La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año.

Para ello se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de

llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25, 0,50, 0,75 ó 1.

Las tablas incluidas en el CTE, en el anexo B, se refieren a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación ( $\beta$  y  $\alpha$ , respectivamente).

Debe escogerse aquélla que resulte más parecida a la superficie en estudio. Los números que figuran en cada casilla se corresponden con el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.

### **5.3.5. RELACIÓN ENTRE EL VOLUMEN DE ACUMULACIÓN Y SUPERFICIE DE CAPTACIÓN**

A parte de lo especificado en los apartados anteriores, a la hora de tratar con A.C.S., hay que tener en cuenta, que la instalación solar se debe diseñar y dimensionar en función de la energía que esta aportará a lo largo del día, y no en función de la potencia de los paneles solares (generador), por consiguiente, se debe prever una acumulación acorde con la demanda y el aporte, al no ser ésta simultánea con la generación.

Para esta aplicación el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

donde:

A será el área total de los captadores, expresada en  $m^2$ .

V será el volumen del depósito de acumulación solar, expresado en litros, cuyo valor recomendado es aproximadamente la carga de consumo diaria  $M$ :  $V = M$ .

Tomando la consideración anterior, la carga de consumo diaria correspondería con unos 240 kilos de A.C.S.

Además, para aquellas instalaciones solares cuya fracción solar sea baja, se deberá considerar el uso de relaciones  $V/A$  pequeñas y para aquellas instalaciones con fracciones solares elevadas se procederá a aumentar dicha relación.

Para el caso particular, al aplicar la expresión anterior, se obtiene una relación  $V/A$  igual a **67,26 litros/m<sup>2</sup>**.

También se puede ver, que este resultado se encuentra dentro de los límites especificados por el CTE, entre el rango de valores correspondiente entre 50 litros/ como límite mínimo y 180 litros/ como límite máximo.

Si se hablase de estos límites, en término volumétricos, los límites superior e inferior corresponderían consecutivamente a unos volúmenes límite de 240 litros/ m<sup>2</sup> (mínimo) y 803 litros/ m<sup>2</sup> (máximo).

Como se ha expresado en uno de los anteriores apartados se decide escoger el volumen del acumulador de 300 litros ya que es el volumen más próximo que se comercializa, por parte de la marca FERROLI (compañía distribuidora oficial), al volumen necesario de A.C.S. calculado en otros apartados de esta memoria técnica.

## **6. INSTALACIÓN SUELO RADIANTE**

### **6.1. INTRODUCCIÓN**

El calor se transmite por tres procedimientos diferentes: conducción, convección y radiación. Según el proceso, intervendrán los tres fenómenos en distintas proporciones, uno o dos de ellos, pero en términos generales y en el terreno de la climatización de edificaciones se puede afirmar que siempre intervienen los tres mecanismos en distinta proporción.

Si en lugar de transmisión, se habla de intercambio de calor, se está introduciendo los mecanismos por los cuales se producen cambios de estado. A efectos de climatización, conviene considerar la evaporación, o el fenómeno inverso de la condensación, como un cuarto mecanismo (fenómeno) de intercambio térmico.

La conducción y la convección necesitan medio material para producirse; a través de los sólidos interviene la conducción, y en los fluidos la convección y la conducción.

La radiación se produce aún en ausencia de medio material, es decir, incluso en el vacío.

Para que se produzca una cesión o absorción de calor por evaporación o condensación es necesario que una sustancia cambie su estado de líquido a gas, de sólido a líquido o viceversa.

## 6.2. CONDUCCIÓN

Aunque también se produce en los fluidos, la conducción se da de forma pura a través de los sólidos, y entre sólidos que se encuentran en contacto entre sí.

El calor transmitido por conducción en una dirección  $x$  del espacio por unidad de tiempo y de superficie se expresa del siguiente modo:

$$q_{cd} = \lambda/e \times (T_a - T_b)$$

En la que:

$q_{cd}$ : flujo de calor por conducción en Kcal/hm<sup>2</sup> o W/m<sup>2</sup>.

$\lambda$ : coeficiente de conductividad térmica del material en Kcal/hm °C o W/m °C.

$e$ : espesor  $m$  del material en la dirección  $x$ .

$T_a$  y  $T_b$ : temperatura en la superficie de las caras  $a$  y  $b$  en grados K o °C.

Esto da como resultado que la potencia con la que una superficie cede o absorbe calor por conducción, es mayor cuanto mayor sea la superficie, cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre las superficies  $a$  y  $b$ , y cuanto mejor conductor sea el material que las conforma.



Por el contrario, a mayor espesor o distancia entre las superficies que intercambian calor, o lo que es lo mismo, el espesor de la capa a través de la que circula el calor, el calor intertercambiado será menor por unidad de tiempo entre las superficies a y b.

En la figura 6.1, se muestra un esquema del funcionamiento del fenómeno de la conducción.

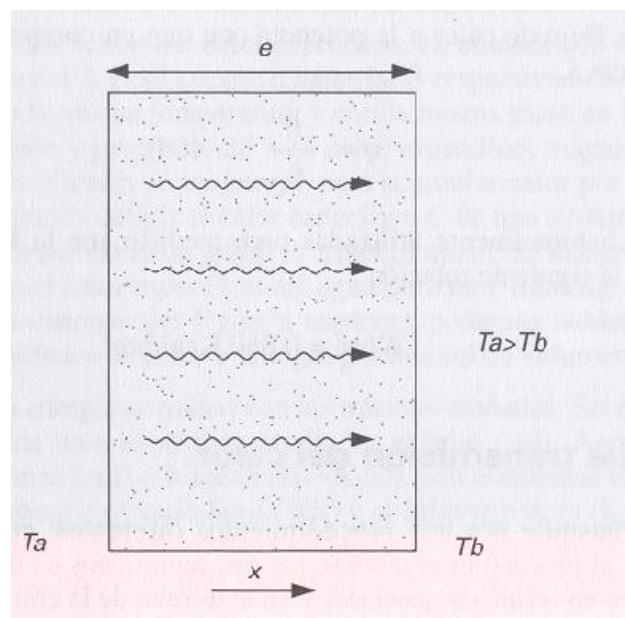


Figura 6.1: Conducción a través de un sólido. [6]

Viendo la figura 6.2, se observa que la transmisión de calor a través de una pared, depende de la conductividad de los materiales de las capas que la componen. El flujo  $x$  que atraviesa la pared en un momento dado es el mismo que atraviesa cualquier plano paralelo a las superficies de la pared en ese mismo momento.

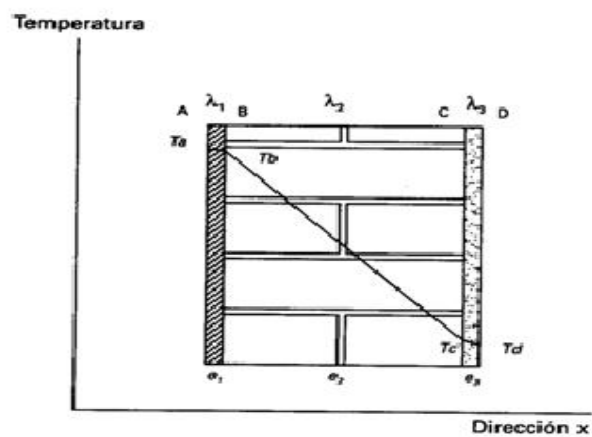


Figura 6.2: Gradiente de temperatura a través de un cerramiento [6]

La resistencia de una pared al paso del calor es la suma de las resistencias de cada una de las capas o materiales que la componen.

$$K = \frac{\lambda}{e} = \frac{l}{\frac{e}{\lambda}} = \frac{l}{\sum \frac{e_i}{\lambda_i}}$$

Expresión que representa a la conductancia térmica K de un cerramiento compuesto por varias capas de material, sus unidades son Kcal/hm<sup>2</sup> °C, o W/m<sup>2</sup> °C.

El cuerpo humano cede calor al ambiente por conducción al aire y al pavimento. Siendo el aire mal conductor del calor, son las plantas de los pies las que producen a veces sensación desagradable al estar en contacto con el suelo frío (solados pétreos en invierno) o caliente (pavimentos de la calle en el verano de regiones meridionales).

### 6.3. CONVECCIÓN

La condición necesaria para que exista transferencia térmica por convección es la existencia de un fluido. La densidad de un fluido, su peso por unidad de volumen, depende de la temperatura a la que se encuentre.

Cuando dos zonas de un fluido se encuentran a distinta temperatura, la que está a más temperatura es menos densa y asciende siendo desplazada por la zona más fría que es más densa. A estas corrientes se les llama convectivas o corrientes de convección, y se dice que transmiten o transportan el calor por convección.

El tipo de convección descrita es la convección natural, por el contrario, si el movimiento del fluido es provocado, por ejemplo por un ventilador, entonces la convección es forzada.

El flujo de calor por convección  $q_{cv}$ , que un fluido a una temperatura  $T_f$  intercambia con una pared que se encuentra a distinta temperatura se expresa así:

$$q_{cv} = \lambda/e \times (T_p - T_f)$$

Siendo:

$\lambda$ : coeficiente de conductividad térmica del fluido en Kcal/hm °C o W/m °C.

$e$ : espesor de la capa de fluido estática en contacto con la pared. Este espesor depende de la viscosidad del fluido y de la rugosidad de la pared.

$T_p$ : temperatura superficial de la pared en grados K o °C.

Se puede considerar que la temperatura de la superficie de la capa límite  $T_f$  es igual a la temperatura del fluido más próximo en movimiento  $T_a$ , y que el cociente entre la conductividad y el espesor de la capa límite es un parámetro  $h_c$  que incluye todos los factores que afectan al espesor de la capa límite.

Para el caso del intercambio de calor entre una pared, el suelo o el techo y el aire, el coeficiente de termotransferencia  $h_c$  depende de la posición, vertical u horizontal, de la superficie, de si la dirección del flujo de calor es ascendente, horizontal o descendente, de la diferencia de temperaturas entre la pared y el aire y por supuesto de las características físicas propias del fluido. Así mismo, depende de si la convección es natural o forzada

En las figuras 6.3 y 6.4, se muestra el funcionamiento del fenómeno de convección.

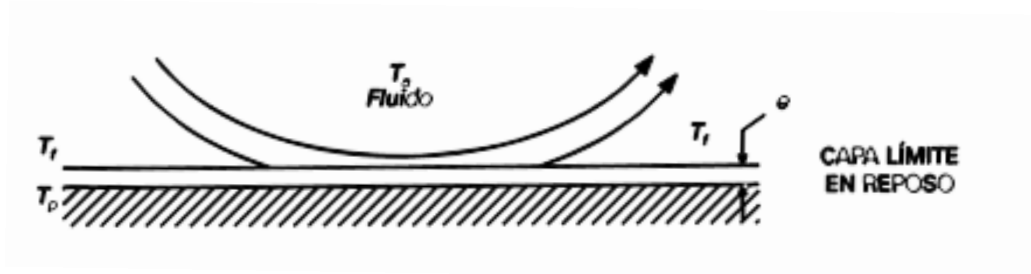


Figura 6.3: Intercambio convectivo entre una superficie y un fluido. [6]

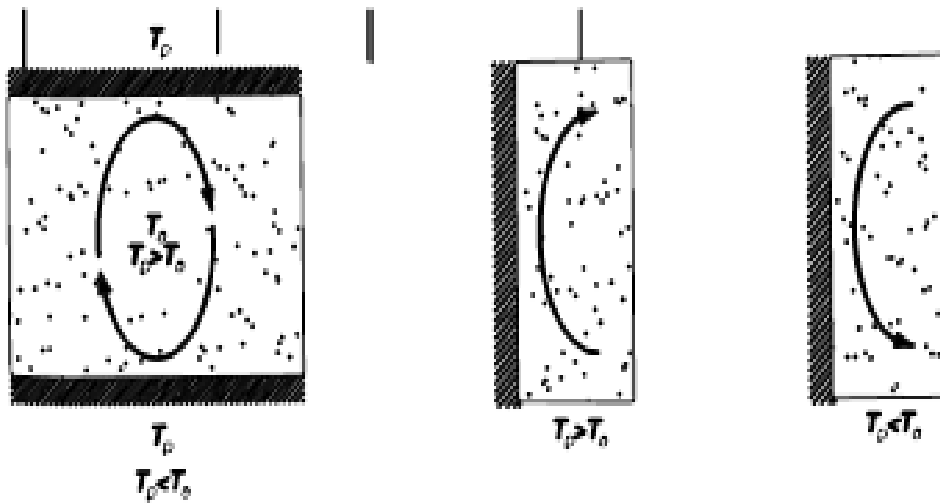


Figura 6.4: Intercambio por convección natural entre el suelo, el techo, la pared y el aire del ambiente. [6]

Los intercambios por convección más favorables del aire ambiente con el suelo se producen cuando éste está más caliente que el aire, y con el techo cuando éste está más frío que el aire, pues se tendrá una idea ascendente del calor y una idea descendente del frío.

En el caso de la personas, el valor del coeficiente de termotransferencia por convección depende de la velocidad del aire que le rodea y de la posición en que se encuentre: tumbado, sentado o levantado.

Las pérdidas por convección por metro cuadrado de superficie corporal vienen dadas por la expresión:

$$q_{cvi} = h_c \times (T_i - T_a)$$

Donde:

$T_i$ : temperatura de la superficie de la piel.

$T_a$ : temperatura del aire ambiente.

## 6.4. RADIACIÓN

Es la única forma de transmisión del calor que no necesita un medio material. Cuando dos cuerpos están a distintas temperaturas intercambian calor por radiación (ondas electromagnéticas), aunque no estén en contacto ni haya aire u otro fluido entre ellos. El flujo de calor intercambiado por radiación entre dos planos infinitos y paralelos cumple:

$$q_{rd} = \sigma \epsilon \times (T_1^4 - T_2^4)$$

En la que:

$T_1$  y  $T_2$ : temperaturas absolutas (siempre en grados K) superficiales de los planos paralelos e infinitos 1 y 2.

$\epsilon$ : emisividad de las superficies. Calculada, según la emisividad  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$  de cada una de ellas, por la expresión:

$$\epsilon = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

$\sigma$ : constante de Stefan – Boltzman de valor:  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ .

En la figura 6.5, se representa el sistema de funcionamiento del fenómeno de radiación.

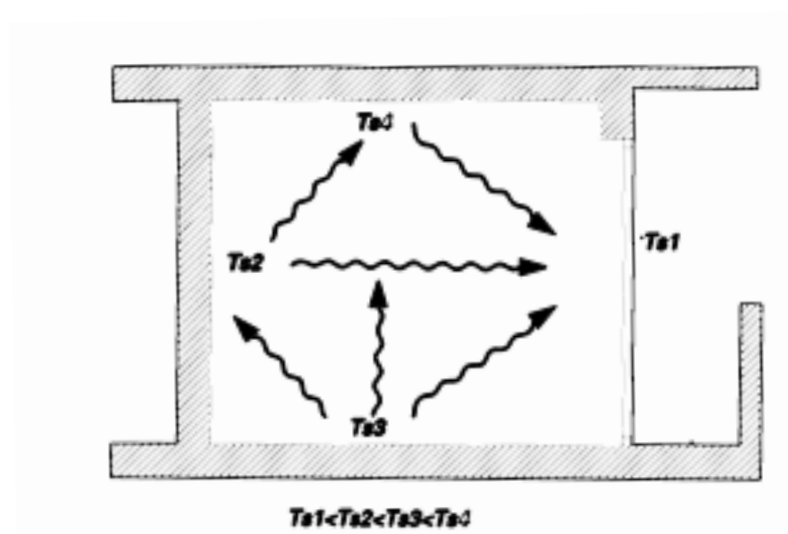


Figura 6.5: Intercambio por radiación entre superficies. Se representa el sentido del flujo neto en función de la temperatura de cada superficie. [6]

La radiación se produce en todas las direcciones del espacio. Si los planos radiantes son finitos, entonces parte del calor se emitirá al espacio y no será recibido por el plano enfrente, por ello se establece un factor de forma con un complejo modo de cálculo, para reflejar la parte de radiación que realmente es «vista» por el objeto o superficie receptora.

Estableciendo una formulación más simplificada de la expresión anterior, en un medio ambiente real el flujo de energía radiante  $q_{rd}$  que emite un cuerpo depende de su temperatura superficial o temperatura radiante  $T_r$ , de la temperatura radiante media de los cuerpos de su entorno  $T_{rm}$  y de un coeficiente  $h_r$  que es función de la temperatura del cuerpo y de su emisividad, llamado coeficiente de pérdidas por radiación.

### **6.5. SENSACIÓN DE BIENESTAR TÉRMICO. CONDICIONES DE CONFORT**

Para un individuo que se encuentre en un recinto cerrado, los intercambios de calor se producirán fundamentalmente por convección del aire envolvente y por radiación hacia las paredes, suelo, techo y los objetos del entorno. La conducción no interviene prácticamente, dado que el aire es un mal conductor del calor.

Las variables que influyen en la sensación de bienestar, desde un punto de vista ambiental, son muchas y de diversa índole, estando entre ellas las siguientes:

- La temperatura seca del aire envolvente (la leída en un termómetro normal).
- La humedad relativa.
- La velocidad del aire
- La temperatura radiante media de las paredes del entorno, incluyendo suelos y techos (media ponderada de la temperatura superficial de las paredes, suelo y techo, en función proporcional al porcentaje de energía que cada una de ellas intercambia entre sí por radiación según el factor geométrico).

- La actividad metabólica que el individuo realiza.
- El grado de vestimenta.
- La calidad del aire envolvente.
- La posición en la que se encuentra (tumbado, sentado o levantado).
- El estar cerca o lejos de focos calientes: lámparas halógenas, radiación solar a través de ventanas, etc., o de focos fríos: paredes o acristalamientos fríos.
- La temperatura del aire alrededor de la cabeza.
- El nivel sonoro.
- La transmisión de calor desde los pies al pavimento.
- El estado de ánimo.
- El tipo de alimentos y el tiempo que hace que se han ingerido.
- Etcétera.

En todo proceso donde se realiza un trabajo se genera calor, éste puede ser útil o residual, es decir: deseado o no deseado. Del mismo modo, en su actividad metabólica el cuerpo humano utiliza energía química (contenida en los enlaces químicos de los átomos de ciertas moléculas orgánicas) para alimentar los procesos en los que se genera trabajo y calor.

Por otro lado, puesto que es necesario mantener la temperatura corporal prácticamente constante entre 36,5 y 37 °C, es necesario disipar el calor excedente para que ésta no aumente provocando riesgos para la salud e incluso la muerte.

Cuando el ambiente externo es excesivamente frío el cuerpo humano debe producir calor, no ya como producto colateral de otro proceso, sino como fin en sí mismo para impedir una bajada de la temperatura corporal que produzca daños irreversibles.

Para el mantenimiento de la temperatura corporal es necesario que el balance energético siguiente resulte cero:

$$\sum q = q_{\text{met}} - q_{\text{ev}} \pm q_{\text{ci}} \pm q_{\text{cvi}} \pm q_{\text{rdi}} = 0$$

Donde  $q_{\text{met}}$ ,  $q_{\text{ev}}$ ,  $q_{\text{ci}}$ ,  $q_{\text{cvi}}$ ,  $q_{\text{rdi}}$  son respectivamente el calor debido a la actividad metabólica, el calor perdido por evaporación (con la respiración y la sudoración), y el debido a los intercambios por conducción, convección y radiación.

A modo de explicación de todo lo expresado anteriormente, se puede observar la figura 6.6.

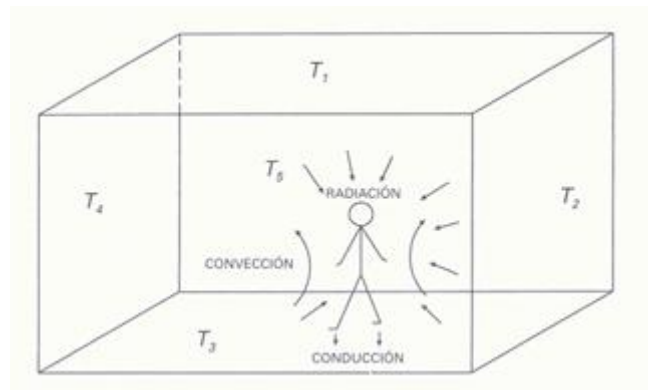


Figura 6.6: Relación térmica de un individuo en un local. [6]

Experimentalmente se han definido unos rangos de temperatura y de humedad del ambiente en los que las personas se encuentran satisfactoriamente. Estos rangos dependen de la actividad física que se desarrolle y del grado de vestimenta que se lleve, pero siempre al intentar aplicarlos a personas concretas aparece un aspecto subjetivo difícil de generalizar, por lo que los parámetros de temperatura y humedad que se consideran óptimos son siempre admitidos en términos estadísticos.



La American Society of Heating and Air Conditioning Engineers (Asociación Americana de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado), conocida como ASHRAE, ha propuesto un gráfico muy utilizado para definir si una determinada combinación de temperatura y humedad relativa del aire puede considerarse como confortable o no.

En la figura 6.7 se representa este diagrama, en el que se observa que las condiciones de confort se encuentran para un rango de humedad relativa del 25 al 85%, y para temperaturas de entre 22 y 28 °C. Matizando un poco este diagrama, se puede observar que en invierno habrá que mantener unas condiciones interiores de 20 a 24 °C y en verano de 24 a 28 °C.

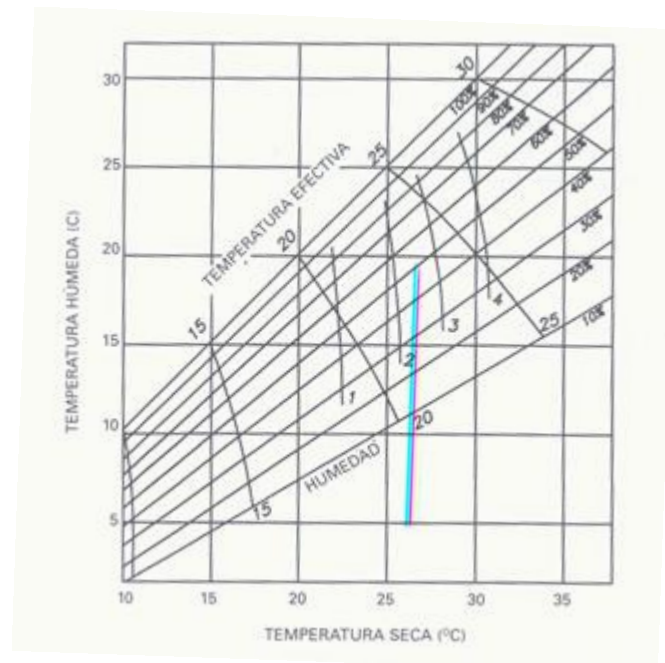


Figura 6.7: Diagrama de confort de ASHRAE. [6]

La temperatura que aparece en el eje horizontal de este diagrama es la llamada temperatura seca, es decir, la medida con un termómetro normal.

En el eje vertical se representa la temperatura húmeda, que es la temperatura que se lee en un termómetro cuyo bulbo está envuelto en una gasa porosa y empapada en agua, de modo que al circular por el bulbo el aire del ambiente con unas condiciones de humedad determinadas se evapora agua de la gasa llevando el aire hasta el 100%

de humedad relativa (saturación), para esta evaporación se absorbe calor del entorno bajando la temperatura del termómetro húmedo.

De modo que la temperatura húmeda siempre es menor que la temperatura seca.

Otras líneas que aparecen en el gráfico de la figura 6.7 son las indicadas por los números 15, 20, 25, 30, éstos indican temperatura efectiva. La temperatura efectiva es la temperatura de sensación debida a la combinación de temperatura seca y humedad relativa del aire, por ejemplo para 22 °C y un 60 % de humedad relativa la temperatura efectiva sería de 20 °C.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas de la Edificación, RITE, en su Instrucción Técnica Complementaria sobre condiciones interiores, ITE.02.2.1 Bienestar térmico [2], dice:

“Las condiciones interiores de diseño se fijarán en función de la actividad metabólica de las personas y su grado de vestimenta, y en general estarán comprendidas entre los siguientes límites:

Tabla 6.1: Condiciones interiores de diseño. [2]

Estación	Tª operativa (°C)	Velocidad media del aire (m/s)	Humedad relativa (%)
Verano	23 a 25	0,18 a 0,24	40 a 60
Invierno	20 a 23	0,15 a 0,20	40 a 60

El proyectista podrá variar las condiciones interiores indicadas en la tabla 6.1 dependiendo del uso de los locales”.

El reglamento habla de temperatura operativa, ésta se define como:

“La temperatura uniforme de un recinto imaginario en el que el cuerpo intercambia el mismo calor seco (no hay evaporación) por radiación y convección que en un medio ambiente real”. [2]

De otro modo se puede definir como:

“El índice empírico de confort que tiene en cuenta la temperatura y movimiento del aire y la radiación del entorno y que se define como la temperatura seca del aire de otro recinto similar, con aire en reposo y que teniendo las paredes a la misma temperatura que el aire, produce la misma sensación térmica”. [2]

## **6.6. SUPERFICIES RADIANTES Y SUELO RADIANTE**

Si se puede mantener alguna superficie interior de la edificación (suelo, paredes, techo) a una temperatura controlada, fría o caliente, para contrarrestar el calor o frío que penetra transmitiéndose a través de los cerramientos, o por renovación e infiltraciones de aire exterior, esta superficie establecerá intercambios de calor por radiación con el cuerpo humano y con el resto de superficies y los elementos que se encuentren dentro de su radio de “visión” e intercambio convectivos con el aire del ambiente.

Cuando el sistema de climatización se basa en lo anterior se tiene un sistema de calefacción o refrescamiento por superficie o superficies radiantes.

La superficie en la que es más fácil implementar un sistema radiante es el suelo. Las paredes presentan el problema de que se cubren con muebles y otros elementos. El techo es algo menos eficiente dado que las tuberías no se envuelven en morteros sino que se montan en una cámara de aire que es la que intercambia el calor con el material de construcción, además el intercambio convectivo del techo es más desfavorable.

Sin embargo, para sistemas de refrescamiento el techo es el lugar idóneo, pues además del intercambio por radiación, el intercambio convectivo se ve favorecido.

Desde el punto de vista del confort, es idóneo poder controlar la temperatura de todas las superficies que rodean al sujeto, puesto que si el cuerpo humano emite radiación calórica de manera uniforme en todas las direcciones, se producirá una mejor sensación de bienestar.

Por los motivos anteriores, este proyecto se va a centrar en las instalaciones por suelo radiante que utilizan tuberías termoplásticas por las que circula agua.

En un sistema de acondicionamiento térmico por superficies radiantes, se podrá controlar la temperatura radiante media del entorno del sujeto e indirectamente la temperatura del aire o temperatura ambiente, es decir, la temperatura operativa de confort,  $T_o$ .

La sensación de frío comienza a notarse por los pies, de ahí el uso extendido del brasero y la mesa camilla, incluso en viviendas que disponen de calefacción por aire o radiadores. Por otro lado, si a la altura de la cabeza la temperatura es excesiva el cuerpo humano notará la sensación de malestar y embotamiento, entre otras causas debido a la respiración de aire caliente. Si a la altura de los pies, se tiene 24 °C y a 1,80 m del suelo 18 °C, se puede afirmar que se habrá una sensación de confort respirando aire fresco.

En la figura 6.8 se puede comprobar lo explicado anteriormente.

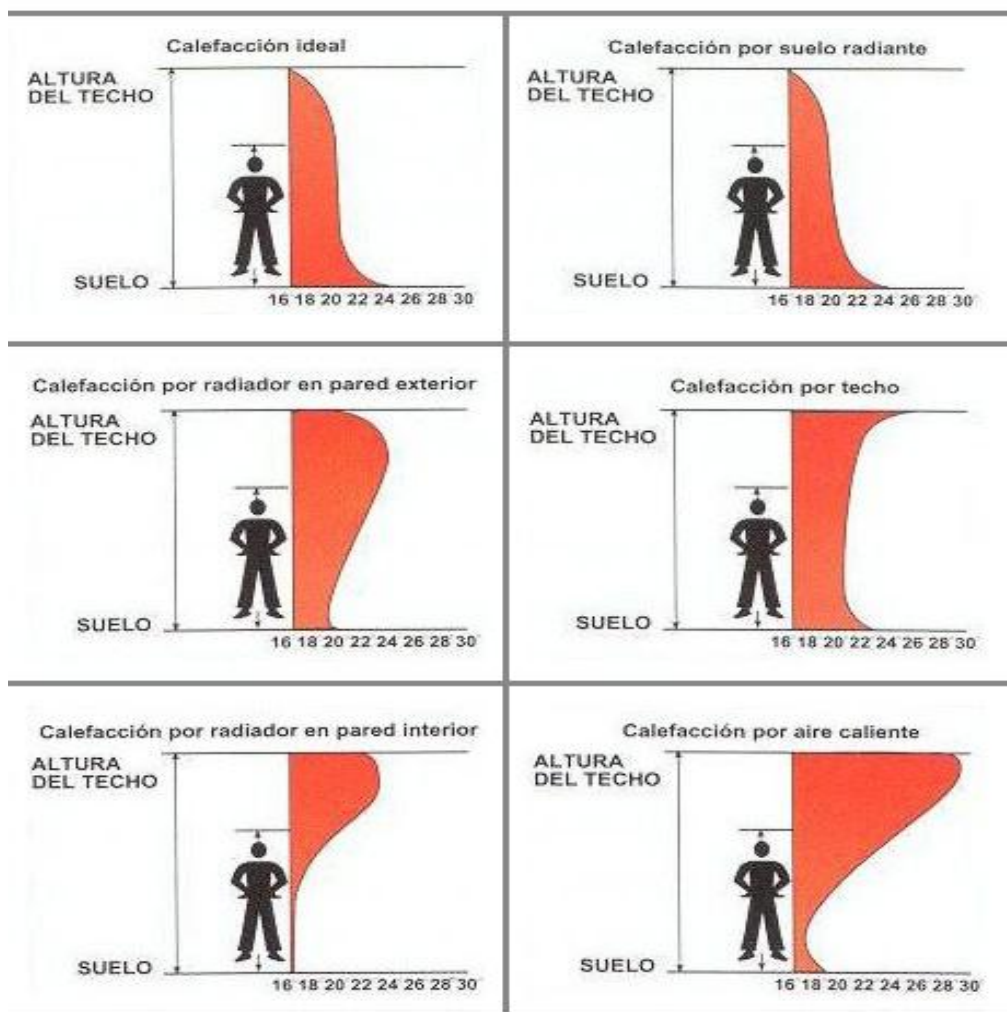


Figura 6.8: Distribución de temperaturas según la altura para distintos sistemas de calefacción. [8]

## 6.7. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO RADIANTE

Las diferencias fundamentales con el resto de los sistemas de calefacción son las siguientes:

- La temperatura de trabajo del agua está entre los 30 y 50 °C, no superando nunca los 55 °C. Los sistemas de radiadores funcionan con agua entre 70 y 90 °C.

Esto permite, usar generadores de calor a baja temperatura como pueden ser las bombas de calor o los paneles solares, así como cualquier tipo de caldera eléctrica, de gas o gasoil, evitando el riesgo de quemaduras.

- En un local calefactado por este sistema, la temperatura es muy uniforme. No existen zonas frías y zonas calientes como ocurre en calefacciones por aire o por radiadores, donde las zonas próximas a los emisores están más calientes que las alejadas o que las próximas a ventanas, formándose bolsas de aire caliente en los techos.
- La ausencia en paredes y techos de emisores de calor, permite más versatilidad en las propuestas de decoración y disposición del mobiliario aumentando el confort visual y la estética.
- La velocidad de circulación del aire no supera los 0,05 m/s con lo que no hay movimientos de polvo ni ennegrecimiento de paredes y cortinas. Además, por este motivo se evita la sensación desagradable de corrientes fluctuantes de aire.

Los llamados radiadores que se colocan en las paredes sólo radian entre un 10% y un 30% de su potencia calórica, el resto de la emisión la realizan por convección. En una superficie radiante la radiación representa más del 60% de su potencia calórica.

- Desde el punto de vista de la salud, disminuye la probabilidad de contraer afecciones respiratorias, al no existir prácticamente corrientes de aire y no influir de manera importante a la humedad relativa, ya que se trabaja con una temperatura seca del aire ambiente de al menos dos grados por debajo que con otras calefacciones.
- En locales con techos altos como iglesias, auditorios, teatros, cines, etc., el ahorro energético es sustancial, ya que se trabaja con temperatura de aire del ambiente inferior al menos en 2 °C a los sistemas que utilizan exclusivamente aire como vehículo portador de calor. Hay que tener en cuenta que en estos edificios el volumen de aire a tratar es muy elevado y por circulación natural se acumula en las zonas altas de la edificación.

En la figura 6.9, se muestra la fluctuación que sufre el aire según el tipo de calefacción que esté instalada.



Figura 6.9: Gráficos de fluctuación de la velocidad del aire a la altura de la cabeza según el tipo de calefacción. [6]

- Un sistema radiante cumple mejor que ningún otro con las condiciones interiores de bienestar térmico establecidas en el RITE en su ITE 02.2.1 [2], en lo que se refiere a gradiente térmico según la altura y a velocidad de circulación del aire, expuestas en la tabla 1 del mismo.
- Observando el valor de los coeficientes de convección  $h_c$  y de radiación  $h_r$ , el cuerpo humano intercambia un 30% de calor por convección, para el intervalo de temperaturas ambiente de 20 a 28 °C, un 45% por radiación y un 25% por evapotranspiración. Por lo tanto, calentando o enfriando superficies grandes, se puede llegar a aumentar la eficacia de los intercambios entre el cuerpo y el entorno.

## 6.8. CAUSAS DEL AHORRO ENERGÉTICO DE UNA CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE

Además de las características enumeradas en el apartado anterior, una de las principales ventajas de un sistema radiante es el ahorro energético que produce en comparación con otros sistemas que usan el mismo tipo de energía primaria.

Otras de las causas de la eficiencia energética son:

- Menor temperatura del agua de distribución: la temperatura en las tuberías generales es como mínimo 25 °C inferior a la de otros sistemas, por lo que cuando éstas pasan por dependencias o zonas que no necesitan calor, se disminuirá considerablemente las pérdidas.
- Menor temperatura del techo. el techo de una habitación con suelo radiante estaba a una temperatura inferior en 6 °C a la de otros sistemas, pudiendo llegar hasta 10 °C menos.

Es decir, que con una calefacción convectiva, ya sea por radiadores, ventilo-convectores o por bomba de calor, y para estos parámetros térmicos, se pierde aproximadamente un 50% más de calor por el techo.

- Menor temperatura del aire del ambiente: con una calefacción por suelo radiante se obtiene aire alrededor de 20 °C, para sentir confort, mientras que por radiadores el aire debe estar a unos 22 °C. Al ventilar el local o se producen renovaciones incontroladas del aire interior, se pierde el calor contenido en el mismo.
- El aprovechamiento de las aportaciones gratuitas de calor: la mayor inercia técnica que tiene una calefacción por suelo radiante. El suelo es capaz de aprovechar las aportaciones gratuitas de calor, como las procedentes de la radiación solar, de aparatos que emiten calor, de lámparas halógenas o de un aumento brusco del número de personas.



La emisión varía menos de un 4% si el ambiente sube 2 grados su temperatura. Un sistema radiante ahorra en estas circunstancias un 50% de combustible, mientras otro sistema no llega a ahorrar ni un 5%.

Según lo anterior, esto influirá la incidencia en el consumo de combustibles, sobre todo en locales como aulas, teatros, auditorios, etc., donde irrumpe bruscamente un número considerable de personas, mientras que los sistemas convectivos tienen dificultades para adaptarse con rapidez a la nueva situación.

Teniendo en cuenta todos los factores que inciden en el ahorro energético de los sistemas radiantes, se puede llegar a producir un ahorro de entre un 10 y un 20% de energía respecto a otros sistemas de calefacción.

- Capacidad de redistribución del calor: cuando se produce una aportación gratuita de calor o frío en una zona del suelo o superficie radiante, el sistema de tubos empotrados absorbe esta fluctuación térmica repartiéndola por el resto de circuitos o superficies, y como consecuencia entre los distintos ambientes.

## **6.9. APLICACIONES DEL SUELO RADIANTE**

El suelo radiante se emplea para los siguientes usos:

- Locales habitados de uso público o privado.
  - Viviendas unifamiliares.
  - Viviendas multifamiliares.
  - Centros de enseñanza.

- Guarderías.
  - Locales de altura elevada, iglesias, naves, industrias, etc. En estos locales la calefacción por aire o por radiadores provoca enormes consumos de energía al tener que calentar grandes volúmenes de aire.
  - Piscinas cubiertas, para caldear las zonas de estancia y tránsito.
  - Salas y pasillos de hospitales.
  - Centros trabajo y oficinas en general.
  - Edificios emblemáticos en rehabilitación.
  - Hoteles.
  - Edificios construidos en reformas, siempre que la altura de los techos lo permita y el forjado esté en condiciones de soportar el peso añadido.
- Espacios cubiertos dedicados a la agricultura:
- Invernaderos. Para mantener unas temperaturas mínimas del aire, favoreciendo la floración y la fructificación.
  - Semilleros. Para acelerar la germinación y el desarrollo de los plantones.
- Alojamientos ganaderos, para aumentar rendimientos:
- Establos.

- Cochineras.
- Granjas avícolas.
- Superficies no cubiertas:
  - Andenes de ferrocarril. Para eliminar la sensación de helor en los pies.
  - Campos de fútbol. Para evitar las escarchas y el hielo
  - Terrazas, azoteas y tejados. Para evitar la acumulación de nieve.
  - Aparcamientos de vehículos. Para evitar placas de hielo.
  - Aceras en zonas muy frías. Para evitar accidentes.

## **6.10. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE UN SUELO RADIANTE**

En la zona inferior de los tabiques y de los muros exteriores, se coloca una banda de material aislante flexible de no más de 1 centímetro de espesor, que llegará hasta el nivel de solería. Esta tira lateral elimina la unión sólida del mortero y el solado con el tabique.

Sobre el forjado van colocadas planchas de aislamiento, con espesor de 2 a 4 cm, de material sintético o mineral con densidad suficiente como para soportar sobradamente las cargas de presión habituales en una vivienda y, si el suelo es industrial y debe soportar maquinaria u objetos de mucho peso habrá que tenerlo en cuenta a la hora de elegir el material aislante base más adecuado, en cuanto a densidad y resistencia a la compresión se refiere.

Al aplicar el mortero fresco, para evitar su penetración por los intersticios entre paneles aislantes si éstos no van machihembrados, o entre los paneles y la franja

perimetral se suele usar una lámina delgada de plástico que se coloca sobre el aislante, o montada entre franja perimetral y el aislamiento base.

Cuando la humedad puede penetrar por el forjado y ser absorbida por el aislamiento ganando éste conductividad se puede usar también una capa delgada de plástico como barrera antivapor. Esto último, debe hacerse en las zonas de las estancias que se encuentren sobre balconadas o voladizos.

Sobre el aislamiento se distribuyen las tuberías, normalmente de no más de 20 mm de diámetro. El mortero formado por la mezcla de cemento, arena, agua y un aditivo especial las envuelve, quedando una capa por encima de ellas con un mínimo, salvo casos especiales, de 4 cm.

Y por último se sitúa la solería de cualquier material de los usados habitualmente, desde el granito hasta el parqué. Lo que no debe hacerse nunca es colocar una tarima que deje una cámara de aire entre el mortero y el solado.

Si el tubo tiene que atravesar algún tabique o cerramiento es necesario envainarlo en tubo concéntrico de diámetro suficiente como para que exista holgura. Esto lo protege de rozamientos indeseados, con aristas de ladrillo u otro material, al contraer y dilatar con los cambios de temperatura.

Del mismo modo, es conveniente enfundarlo cuando discurra transversalmente a las juntas de dilatación de pavimento y en la curva de ascenso o descenso al distribuidor de circuitos.

Pueden utilizarse como fundas o vainas tramos de tubo corrugado resistente, del que se usa como canalización de cables, tramos de PVC flexible de 32 o 40mm, del que se usa como tubería de evacuación en instalaciones sanitarias, etc.

En las figuras 6.10 y 6.11, se muestra un ejemplo de un esquema constructivo de un suelo radiante.

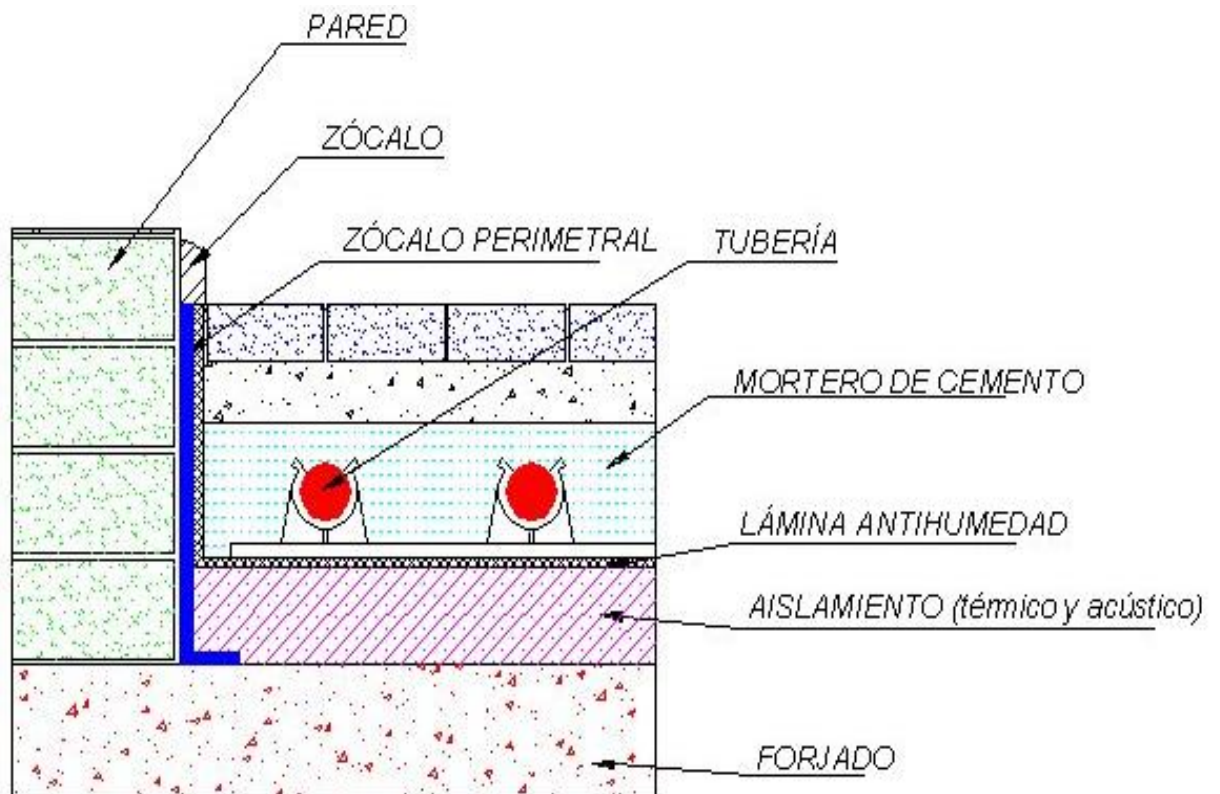


Figura 6.10: Corte en sección de un suelo radiante. [8]

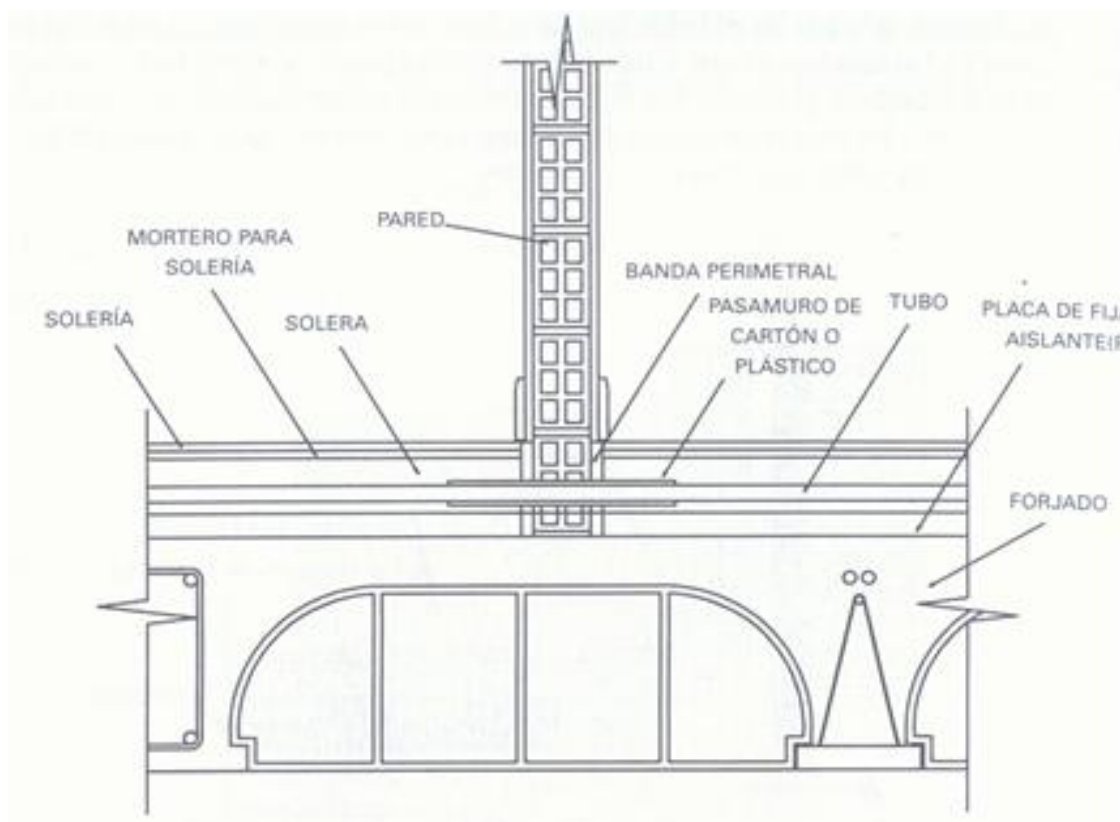


Figura 6.11: Vaina o pasadizos. [6]

## **6.11. DESCRIPCIÓN DE INSTALACIÓN Y ELEMENTOS**

### **6.11.1. TUBERÍAS PLÁSTICAS**

Actualmente, las instalaciones se realizan con tuberías de plástico resistentes a temperaturas de trabajo incluso superiores a los 100°C, las llamadas tuberías termoplásticas.

Está ya extendido el uso de tres tipos de tuberías de plástico, éstos son: polipropileno copolímero (PP-c), polibutileno (PB), o polietileno reticulado (PER o VPE).

Los tres materiales son polímeros formados por macromoléculas que a su vez están formadas por la concatenación de unidades o monómeros de moléculas orgánicas de menor tamaño.

Las tres tuberías termoplásticas mencionadas tienen características comunes: son flexibles, de paredes muy lisas y sensibles a la componente ultravioleta de la radiación solar, que provoca en ellas efectos de envejecimiento y pérdida de elasticidad.

El tubo de polipropileno tiene la gran ventaja de que puede soldarse con facilidad por polifusión, tanto diámetros pequeños como grandes, con una máquina-herramienta llamada polifusor. Además, existen en el mercado accesorios de todo tipo - manguitos, codos, etc. que pueden soldarse entre sí y a la tubería para posibilitar cualquier tipo de montaje.

El tubo de polipropileno copolímero es el más rígido de los tres plásticos, por lo que para la realización de curvas cerradas (pequeño radio de curvatura) es necesario llenarlo de agua caliente o insuflarle aire caliente.

La tubería de polibutileno presenta gran resistencia a la temperatura, pudiendo trabajar hasta 80 °C sin problemas de envejecimiento. Su gran ventaja estriba en la mayor flexibilidad respecto de los otros dos plásticos mencionados, lo que hace que sea más fácil el montaje.

Por otro lado, el polietileno reticulado es el más resistente a la temperatura, tiene una flexibilidad intermedia y presenta la mayor conductividad térmica, por su relación calidad/precio es el más usado en la actualidad en este tipo de instalaciones.

El polietileno reticulado utilizado para instalaciones hidrosanitarias y de calefacción, no tiene las mismas características físicas que el utilizado en las redes de gas, que es de mayor espesor y densidad, o que el utilizado para agua fría o riego, que no es reticulado, por lo que no se debe confundirlos.

Los diámetros comerciales útiles y habituales para este tipo de instalaciones son el 12/16 mm (16x2) y el de 16/20 mm (20x2), correspondiendo en esta nomenclatura el primer número al diámetro interior y el segundo al diámetro exterior (o bien, entre paréntesis, metro exterior y espesor de pared).

El tubo de 12/16 es el que más se utiliza en instalaciones de menos de 150 m<sup>2</sup>, con diámetros menores se podría aumentar la densidad de tubo embutido (metros lineales de tubo por unidad de superficie emisora), aumentando de este modo la superficie exterior del tubo en contacto con el mortero y mejorando el intercambio de calor.

Cuando la instalación tiene cierta envergadura (p.e. superficies de más de 200 m<sup>2</sup>) se deberá utilizar tubería de 16/20.

Los tubos se suministran, habitualmente, en rollos de 50, 120 o 200 m, y con otras longitudes según el fabricante o bajo pedido. La elección del número de rollos de cada tamaño debe ir encaminada a optimizar el costo reduciendo al máximo los restos sobrantes si se usa materiales de fabricantes que no recomiendan la realización de uniones mecánicas bajo el suelo.

Algunas de las características principales de las tuberías de plásticos están resumidas en la tabla 6.2.

Tabla 6.2: Algunas características físicas de las tuberías de plástico. [6]

Características	Unidad	Polibuteno (PB)	Polipropileno	Polietileno
-----------------	--------	-----------------	---------------	-------------

		(PP.C)		reticulado (VPE)
Densidad	g/cm <sup>2</sup>	0,93	0,91	0,94
Resistencia a rotura	N/mm <sup>2</sup>	33	45	23
Alargamiento hasta rotura	%	280	1100	250
Módulo de elasticidad	N/mm <sup>2</sup>	350	1000	750
Conductividad térmica	W/m K	0,22	0,22	0,38
Coefficiente de dilatación lineal	mm/mK	0,13	0,18	0,19

6.11.2. AISLAMIENTOS

Para evitar que el calor se propague hacia abajo es preciso colocar un aislante entre el forjado y el mortero que cubre los tubos. El material más empleado para este fin es el poliestireno expandido (porexpan) de alta densidad, con una densidad superior a 20 Kg por m<sup>3</sup>. Ésta es la densidad mínima para que soporte sin deformaciones la losa del pavimento y todo lo que se encuentre sobre ella. Además del porexpan existen en el mercado otros materiales que pueden usarse como aislamiento base tales como el P.V.C. expandido (cloruro de polivinilo), la lana de roca, el poliuretano, etc.

Las distintas casas comerciales ofrecen variados sistemas de aislamiento de suelo con espesores generalmente comprendidos entre 2 y 4 cm, teniendo:

- Planchas lisas de porexpan de alta densidad sin machihembrar. Este sistema requiere la colocación de una lámina de plástico encima del aislamiento (película de polietileno) con el fin de evitar la creación de puentes térmicos y acústicos, al poder penetrar el mortero de cemento fresco por las rendijas que quedan entre plancha y plancha.



- Planchas lisas de porexpan machihembradas que se solapan unas con otras por el lateral.
- Planchas con tetones para guiar el tubo a las distancias adecuadas y servir de sistema de fijación. Aunque las tensiones del tubo al venir enrollado de fábrica hacen necesaria a veces la utilización de grapas de fijación.
- Planchas especiales de muy alta densidad con capas rígidas de cloruro de polivinilo o de polietileno para soportar pesos importantes.
- Planchas en rollos que incorporan láminas de papel Kraft, film de aluminio y film de polietileno. Sin tetones y con solapas adhesivas a un lateral para fijar unas bandas con otras.
- Planchas de pequeño espesor y de muy alta densidad, para lugares en los que la altura está limitada.

En la tabla 6.3, se recoge las características que posee el poliestireno expandido usado como aislante para los suelos radiantes.

Tabla 6.3: Características del aislante de poliestireno expandido. [6]

	Unidad	TIPO				
		I	II	III	IV	V
Densidad nominal	Kg/m <sup>3</sup>	10	12	15	20	25
Densidad mínima	Kg/m <sup>3</sup>	9	11	13,5	18	22
Conductividad térmica a 0 °C	W/m k	0,044	0,042	0,037	0,034	0,033
Conductividad térmica a 20 °C	W/m k	0,047	0,045	0,040	0,037	0,035
Resistencia a la compresión	Kg/m <sup>2</sup>	4000	4000	5000	9000	12 000

No hay que olvidar que un aislamiento de suelo también produce como efecto añadido la disminución de la transmisión del sonido de impacto, con lo que mejoran las propiedades acústicas de los cerramientos de suelo.

En las figuras 6.12 y 6.13, se muestra un ejemplo de los distintos tipos de aislamientos usados para los suelos radiantes.

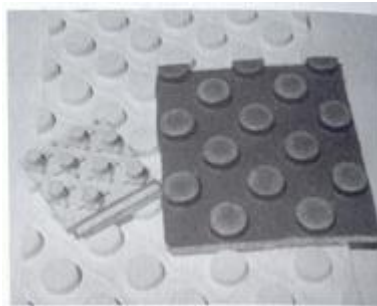


Figura 6.12: Aislamiento base con tetones. [6]



Figura 6.13: Aislamiento en rollos con láminas auto adhesivas para solapar. [6]

### 6.11.3. SISTEMAS DE FIJACIÓN

Al desenrollar la tubería sobre el aislante base, es necesario fijarla al mismo. Cualquier sistema de fijación del tubo al aislamiento puede ser válido siempre que no se provoquen rozamientos que pudieran deteriorar las paredes del tubo en sus esfuerzos de dilatación y contracción, debido a los habituales cambios de temperatura.

Algunos de los más usuales por orden cronológico de aparición y uso:

- Fijación con mallazo y lazos: consiste en colocar un mallazo (red de varillas de acero electrosoldadas) sobre la capa de aislante y fijar los tubos a él mediante lazos no metálicos. Las bridas de nailon pueden ser útiles para esta tarea. Esta técnica se encuentra en desuso, hasta el punto que algunos fabricantes no garantizan el tubo si se utiliza el mallazo.
- Fijación con guías y grapas: con tacos y tornillos en el forjado se fijan sobre el aislamiento base unas guías metálicas o de plástico que llevan incorporadas, o sobre las que se encajan, unas grapas que a su vez sirven para la fijación del tubo. Con este sistema, sólo se podrá distribuir el tubo en serpentín, ya que no es posible hacerlo en espiral. Un ejemplo de este sistema se muestra en la figura 6.14.

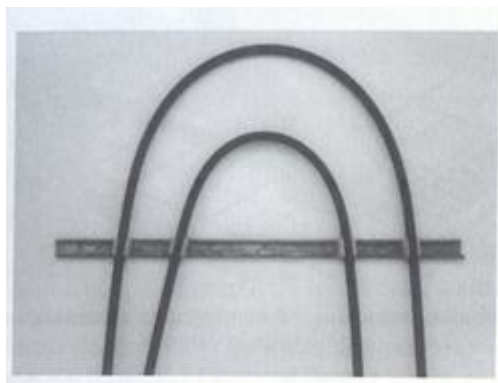


Figura 6.14: Guías y grapas. [6]

- Fijación con grapas: consiste en unas grapas que se roscan sobre el aislamiento y en las que se encaja posteriormente el tubo. Aproximadamente se debe colocar una grapa por cada metro lineal, y de 2 a 3 grapas en cada cambio de dirección de  $90^\circ$  y de 3 a 4 cuando la dirección es de  $180^\circ$ . Debido a la debilidad de esta unión, hay que tener cuidado con las tensiones de los tubos en las curvas para evitar que salten las grapas antes de taparlos con el mortero. La figura 6.15, se muestra un ejemplo de este sistema de fijación.

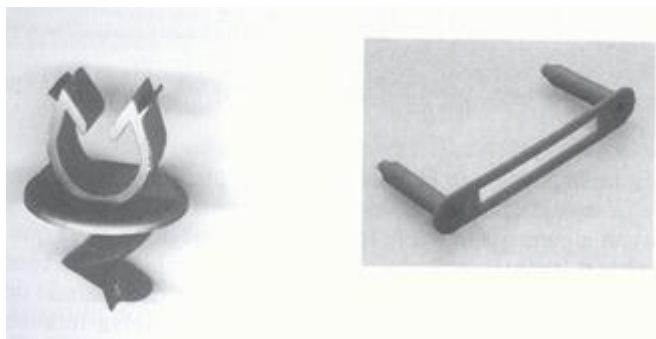


Figura 6.15: Grapa – rosca y grapa para encajar en dos tetones. [6]

- Fijación con grapas arpón: las grapas se colocan con una herramienta especial al mismo tiempo que se desenrolla el tubo.
- Fijación incorporada en el aislamiento: las planchas incorporan unos tetones entre los que se encaja el tubo. No obstante, a veces hay que completar el anclaje con alguna grapa, sobre todo en las curvas de 180°, ya que en éstas a veces el tubo tiende a levantarse. Estos sistemas, llevan también unas bandas salientes estrechas que sobresalen de la base para que el tubo quede separado del aislamiento unos milímetros, con objeto de que el mortero lo envuelva totalmente. Este sistema de placa base con tetón y sistema de fijación incorporado es el más usado en la actualidad. La figura 6.16, muestra el aspecto que tiene los aislamientos con fijación incorporada.



Figura 6.16 – Tubo encajado en aislamiento base con tetón. [6]

#### 6.11.4. BANDA PERIMETRAL

Es una banda de material aislante que separa la losa de mortero y el solado de las paredes, logrando que éste sea un pavimento flotante, facilitando la dilatación del mismo y paliando el efecto de fuga de calor debido al puente térmico del suelo con las paredes y cerramientos laterales.

La temperatura de trabajo de los sistemas radiantes no implica riesgo de rotura del solado por efectos de dilatación.

El material para la banda perimetral puede ser poliuretano, poliestireno expandido o algún otro material aislante. Su espesor no suele ser superior a 10 mm y su altura de 10 a 16 cm.

En la tabla 6.17, se observa un ejemplo de banda perimetral que se puede usar.

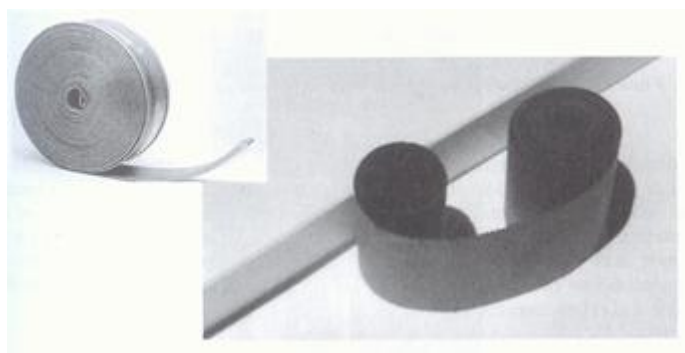


Figura 6.17: Algunos tipos de tira lateral o banda perimetral. [6]

#### **6.11.5. EL DISTRIBUIDOR**

Como su nombre indica, su misión es distribuir el agua de la tubería general que lleva agua caliente o fría a cada uno de los circuitos emisores, normalmente divididos por habitaciones, y recoger el agua de los circuitos para devolverla por una tubería general al generador distribuidor. Está compuesto de dos tuberías horizontales paralelas sujetas a la pared mediante un soporte, a estas tuberías llamadas colectores, se les acoplan en derivación, válvulas, detentores, purgadores, termómetros, grifos de vaciado y caudal metros, y de ellos parten los tubos hacia el suelo. Uno de los tubos colectores es el de «ida» y el otro el de «retorno».

Los distribuidores, deben llevar un detentor por circuito para que el técnico pueda regular el caudal de paso a cada uno de ellos, realizando un equilibrado hidráulico de la instalación. También deben incorporar una válvula micrométrica por cada circuito para que el usuario pueda conectar o desconectar la calefacción en las distintas zonas o habitaciones a las que corresponde.

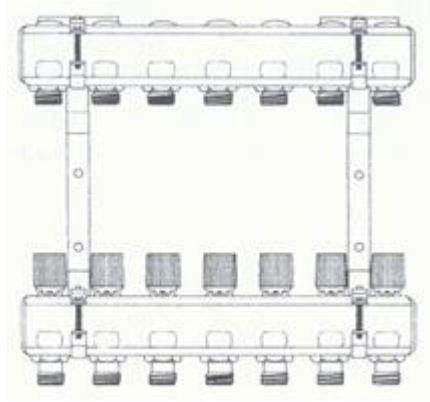


Figura 6.18: Tubos colectores que incorporan válvulas de usuarios y detentor. [6]

Otros mecanismos imprescindibles que debe incorporar el distribuidor son los purgadores.

Los purgadores permiten la evacuación del aire de las instalaciones, y pueden ser manuales o automáticos; debe situarse uno en el colector de “ida” y otro en el de “retorno”, o al menos uno en el tubo colector que esté situado más alto, que será preferiblemente el de retorno.

A cada uno de los tubos colectores, con objeto de poder independizarlos del resto de la instalación, se le conectarán unas llaves de esfera, una a la entrada del colector de ida y otra a la salida del de retorno.

En la configuración del distribuidor, debe existir un mecanismo para permitir al instalador hacer un ajuste del caudal de cada circuito, al objeto de equilibrar la instalación hidráulica y térmicamente.

Si esto no fuera así la mayor parte del caudal se iría por el circuito más corto, que presenta menos resistencia al paso del agua, teniendo zonas o estancias con exceso de calor y zonas frías.

Según los elementos de medida montados, los distribuidores se clasifican en:

- Los que no incorporan termómetros, ni a la ida ni al retorno. No se conoce la temperatura de ida ni de la retorno. Son los más simples.
- Los que incorporan información de temperatura de ida y de retorno. Llevan dos racores portatermómetro con termómetro, uno a la entrada del colector de ida y otro a la salida del colector de retorno, que proporcionan la temperatura de entrada del agua a todos los circuitos y la temperatura de retorno global.

Al mismo tiempo permite comprobar que el agua no va a los circuitos a temperatura superior a 50 °C, pues el límite máximo de mal uso y del riesgo está en los 55°C.

- Los que incorporan información de temperatura de ida para todos los circuitos y de temperatura de retorno para cada circuito. Permiten al instalador o al técnico, conocer el salto térmico por circuito, pudiendo actuar sobre los detentores. Disminuyendo el caudal, el salto térmico aumenta, o a la inversa.
- Los que incorporan información de temperatura de ida y de caudal por circuito. Llevan un caudalímetro por circuito indicando los litros/hora que pasan por él. Permiten un ajuste de los detentores para cada uno de los emisores o circuitos independientes.
- Los que incorporan información de temperatura de ida, de caudal por circuito y de temperatura de retorno por circuito.

#### **6.11.6. GENERADORES DE CALOR**

En una instalación de calefacción por suelo radiante puede usarse cualquiera de los aparatos existentes para producir agua caliente para calefacción tales como: calderas de gasoil, calderas de gas, chimeneas recuperadoras, bombas de calor aire-agua, calderas eléctricas y colectores solares.

Sin embargo, pueden ser más simples los sistemas que incorporen generadores de calor que puedan trabajar con temperaturas de agua de 30 a 50 °C. Esto lo cumplen las calderas de gas, las bombas de calor y las calderas eléctricas.

También son muy apropiados los colectores solares térmicos de placa plana, dado que por su temperatura de trabajo se adaptan perfectamente a los requerimientos térmicos del agua de circulación.

## **6.12. FORMAS BÁSICAS DE DISTRIBUCIÓN DEL TUBO**

La distribución del tubo debajo de la solería no debe ser aleatoria, procurando que la disposición del tubo embutido en la capa de mortero repercuta en un reparto homogéneo del calor por toda la superficie del solado.

Esto se consigue determinando la separación entre tubos y manteniendo un mínimo espesor de la capa de mortero por encima de la generatriz superior del tubo (recomendable 4 cm).

Se puede jugar con este espesor si se tiene en cuenta que a mayor espesor habrá más acumulación de calor y por tanto más inercia, y a menor espesor el efecto térmico en los recintos se notará con más rapidez desde la puesta en marcha.

El tubo se extiende formando serpentines o espirales con tres formas básicas: la distribución en serpentín simple, la distribución en doble serpentín, la distribución en espiral.

Para cualquiera de los tipos de distribución, siempre se comienza a unos 10 o 15 cm de una de las paredes o límites del circuito y se alinea el tubo de forma paralela a los mismos.

### **6.12.1. DISTRIBUCIÓN EN SERPENTÍN SIMPLE**

Consiste en deslizar el tubo formando líneas paralelas de ida y vuelta manteniendo la equidistancia de cálculo entre ellas.



Este sistema es el más sencillo pero presenta la desventaja de que se calienta más la solera al principio del recorrido que al final, por lo que se crean diferenciales de temperatura en las estancias.

Sin embargo, las diferencias de temperatura en la habitación no son tan grandes como cuando la calefacción es por radiadores.

Para intentar subsanar esto debería instalarse un mecanismo que invirtiera el flujo cada cierto tiempo, convirtiendo la ida en el retorno y viceversa.

Los sistemas en serpentín se adaptan a espacios alargados.

Pueden hacerse curvas más cerradas si se calienta el tubo insuflándole aire caliente o llenándolo de agua caliente, nunca con llama directa del soplete, pues se romperían los enlaces químicos que forman el reticulado que confiere las especiales características de resistencia y durabilidad.

En la figura 6.19, puede observarse un ejemplo del sistema de distribución por serpentín simple.

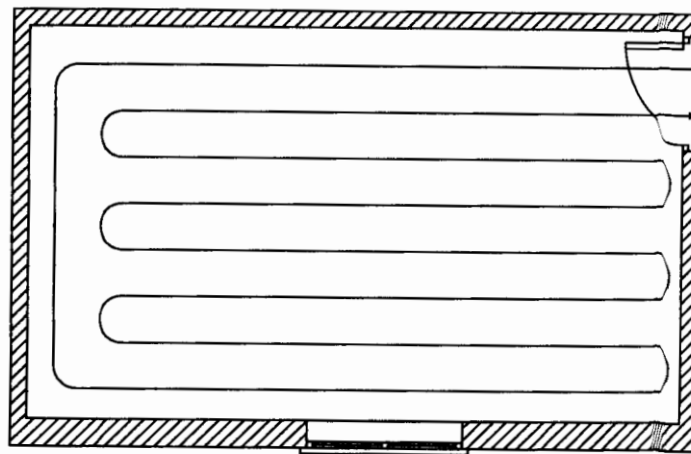


Figura 6.19: Distribución en serpentín simple. [6]

### 6.12.2. DISTRIBUCIÓN EN DOBLE SERPENTÍN

Se ejecuta intercalando una línea de ida con otra de retorno. De este modo, lo que se tiene son dos tubos paralelos con fluido de ida seguidos de otros dos con fluido de retorno, por este motivo podrían provocarse franjas de solado más calientes y franjas más frías.

En la figura 6.20, se muestra un ejemplo del sistema de distribución por serpentín doble.

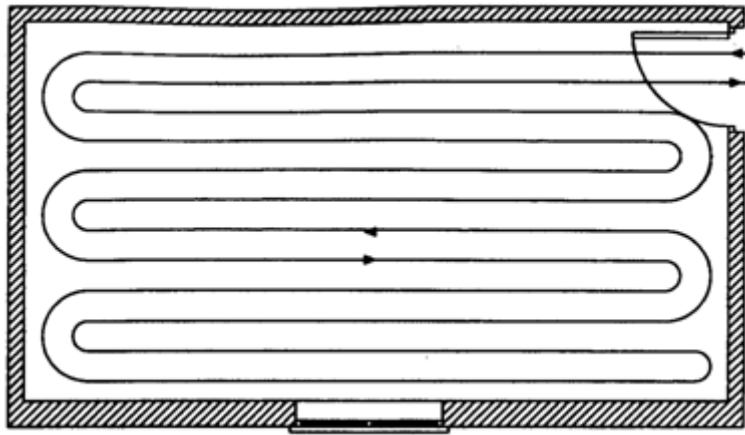


Figura 6.20: Distribución en doble serpentín. [6]

### 6.12.3. DISTRIBUCIÓN EN ESPIRAL

Consiste en deslizar el tubo desde los límites exteriores hacia el centro de la habitación, dejando entre líneas paralelas dos distancias de separación para poder volver con el tubo por entre cada dos líneas y que al final todas las líneas disten la misma distancia unas de otras.

Una vez que se llega al centro se hacen dos giros de  $180^\circ$  y se sale por el medio del espacio dejado. La espiral debe seguir tramos paralelos a la forma de la habitación o zona aunque ésta sea irregular.

Es el modo de distribución que mejor homogeneiza la temperatura de la superficie radiante, pues se van intercalando los primeros tubos de ida con los últimos de retorno.

La figura 6.21, representa la distribución en espiral del circuito de distribución.



Esto se puede conseguir con una doble espiral, se realiza primero una espiral con una separación entre tubos, y al terminar ésta, una segunda con menor separación en la zona más próxima al acristalamiento.

Si la estancia es muy grande, al calcular el número de circuitos es posible que salgan dos para la misma habitación. Esto ocurre, para evitar que los circuitos sobrepasen un número de metros de tubo que provocaría demasiada pérdida de carga.

Si algún circuito presenta mucha diferencia de caída de presión respecto de los demás puede dificultarse el equilibrado hidráulico y térmico de la instalación. En este último caso se puede realizar dos circuitos con separaciones diferentes. Un ejemplo de esta situación, se representa en la figura 6.22.

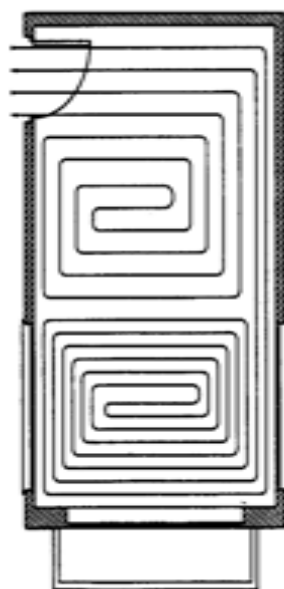


Figura 6.22: Distribución mediante doble espiral. [6]

Una forma muy cómoda y adecuada de establecer un diferencial de emisión térmica consiste en hacer una sola espiral, en la que los tubos de debajo de los ventanales quedan a menor distancia que en el resto de la habitación.

Hay que tener en cuenta, que esto puede ser así para cada una de las paredes de un circuito que tenga grandes ventanas. A este sistema se le denomina distribución con diferencial de carga térmica.

En el caso de que la habitación o local tenga tres paredes exteriores que, por ejemplo, por su orientación norte, se prevea que van a ser paredes muy frías, se puede realizar una espiral partida, que es como un serpentín simple del centro hacia afuera, en la que el aporte de calor es mayor cuanto más cerca se esté de los muros exteriores.

En este caso no es indiferente la dirección de circulación del agua en el circuito, ya que la ida debe entrar por el exterior y el retorno salir del centro de la habitación, pues si se hiciese de manera errónea, se produciría el efecto contrario al deseado.

En la figura 6.23, se muestra un ejemplo de esquema de distribución por espiral partida.

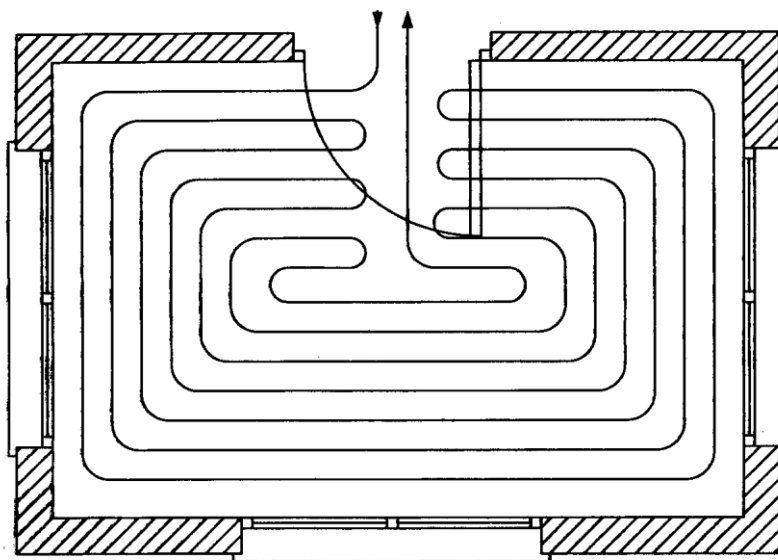


Figura 6.23. Espiral partida. [6]

En grandes locales, como iglesias, invernaderos, etc., o en exteriores, como tejados o campos de fútbol, la distribución puede hacerse utilizando dos tubos embutidos de mayor diámetro que actúen como tubos colectores de otros de menor diámetro conectados a ellos mediante té. Para esta solución la tubería idónea es el

polipropileno copolímero, ya que se pueden usar accesorios para soldar por polifusión.

En instalaciones de este tipo es imprescindible la colocación de un inversor de flujo que actúe intercambiando la ida por el retorno cada cierto tiempo; una válvula de cuatro vías comandada por un cabezal eléctrico con accionamiento todo-nada puede realizar esta función.

La regulación del accionamiento de la electroválvula podría hacerse con un interruptor horario que la accione con intervalos de media hora o una hora. Con este tipo de distribución deberá procurarse un buen equilibrio hidráulico para que por cada tubo de la red circule aproximadamente el mismo caudal de agua.

La figura 6.24, representa el sistema de emparrillado con tubos, un sistema alternativo al descrito anteriormente.

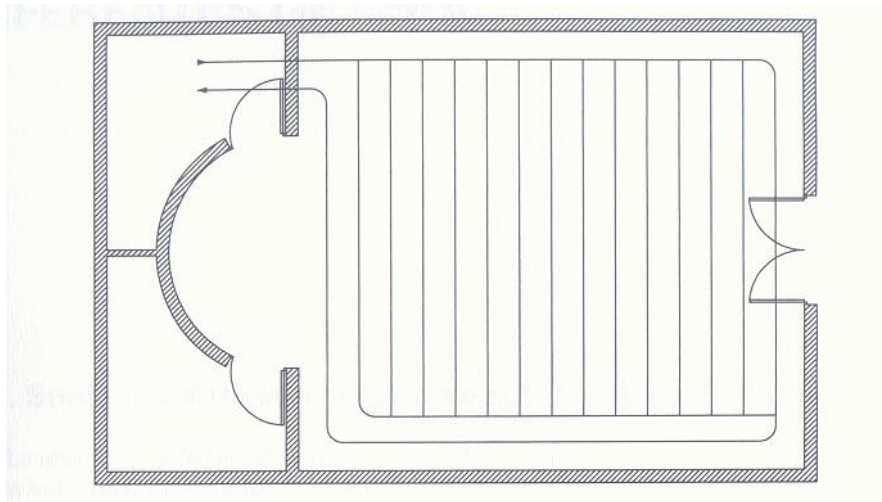


Figura 6.24: Distribución con emparrillado de tubos. [6]

## **7. CALCULO DE LA INSTALACIÓN DEL SUELO RADIANTE**

El objetivo del cálculo va a ser la resolución completa del cálculo de una instalación de calefacción por suelo radiante, para cualquiera que sea el generador de calor utilizado, de un modo lo más eficaz y sencillo, ya que hay que recordar que el estudio de los análisis de los intercambios energéticos de un edificio no es una tarea simple. Por lo tanto, se va a tender hacia una solución simplificada pero ajustándose lo máximo posible al problema planteado.

### **7.1. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR PARA LA VIVIENDA**

Como primer paso para calcular la potencia necesaria para la instalación, se debe hallar primero el coeficiente global de transmisión de calor propio para la vivienda estudiada en este proyecto.

La antigua norma española NBE CT-79, recogida en la norma UNE 24 046, (posteriormente derogada al aprobarse el C.T.E.) establece un método de cálculo basado en dicho coeficiente global, también representado como el coeficiente global

de pérdidas térmicas  $K_G$ , que es exclusivamente superficial, en vez de usar uno volumétrico ( $K_{GV}$ ).

Dicho coeficiente de  $K_G$ , tienen en cuenta todas las pérdidas térmicas por transmisión a través de todas las superficies exteriores en contacto con la intemperie o el ambiente exterior a la vivienda y con otros locales no calefactados.

La expresión que define a  $K_G$  es:

$$K_G = \frac{\sum K_e \cdot S_e + 0,5 \cdot \sum K_n \cdot S_n + 0,8 \cdot \sum K_q \cdot S_q + 0,5 \cdot \sum K_s \cdot S_s}{\sum S_e + \sum S_n + \sum S_q + \sum S_s}$$

$K_G$ : = coeficiente global de transmisión de calor de la vivienda.

Siendo:

$K_e$  = Coeficiente de transmisión de calor de los cerramientos en contacto con el ambiente exterior, muros o paredes verticales con inclinación superior a  $60^\circ$ , puertas, ventanas, forjado sobre espacios exteriores.

$K_n$  = Coeficiente de transmisión de calor de los cerramientos en contacto con otros edificios o locales no calefactados, muros, medianerías, puertas, ventanas, forjados de separación con espacios de altura mayor de 1 metro.

$K_q$  = Coeficiente de transmisión de calor de los cerramientos de techo cubierta, lucernarios, claraboyas, azoteas, cubiertas inclinadas menos de  $60^\circ$  con la horizontal.

$K_s$  = Coeficiente de transmisión de calor de los cerramientos de separación con el terreno, soleras, forjados sobre cámara de aire de altura menor o igual de 1 metro, muros enterrados o semienterrados.

Todos los coeficientes anteriores se miden en  $W/^\circ C m^2$ .

$\sum S_e$ ,  $\sum S_n$ ,  $\sum S_q$ ,  $\sum S_s$  = Superficies de cada uno de los cerramientos descritos, expresados en  $m^2$ .



El coeficiente multiplicador 0,5 tiene en cuenta las pérdidas hacia el terreno y hacia locales adjuntos no calefactados y el coeficiente de 0,8 pretende tener en cuenta las ganancias debidas a la radiación solar.

Los valores de los distintos coeficientes usados para hallar el valor de  $K_G$ , están recogidos en la tabla 7.1, la fuente de la que se obtienen dichos coeficientes son las fichas justificativas de la opción simplificada para el cumplimiento del C.T.E. del DB –HE – 1, proporcionadas por el arquitecto.

Aplicando la expresión anterior, se obtiene un valor de  $K_G$  igual a  $0,53 \text{ W/ } ^\circ\text{C m}^2$ .

Tabla 7.1: Valores de los coeficiente y superficie para calculo de  $K_G$ .

Tipo de coeficiente	Valor coeficiente	Superficie coeficiente	$\sum K \cdot S$
$K_e$	0,38	275,73	181,40
$K_n$	0	0	0
$K_q$	0,24	56,80	13,08
$K_s$	0,25	64,04	16,42

La norma establece unos valores máximos de  $K_G$  para cada zona climática recogida en la figura 7.1, del tipo de energía usada para calefacción y del factor de forma  $f$ , que relaciona la superficie exterior y el volumen interior albergado por dicha superficie.

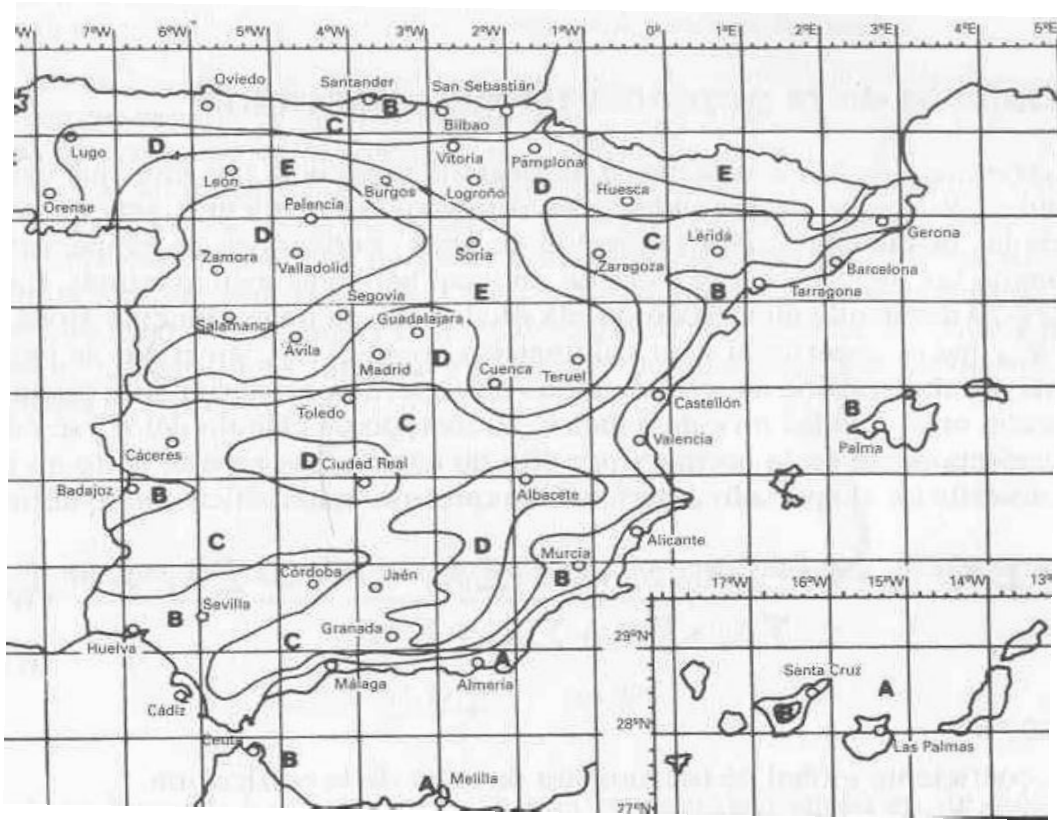


Figura 7.1: Zonas climáticas de España según sus grados días anuales. [6]

Dichos valores máximos vienen recogidos en la tabla 7.2.

Tabla 7.2: Valores límite de K<sub>G</sub>. [6]

Factor de forma (m <sup>-1</sup> )	Zona climática									
	A		B		C		D		E	
f ≤ 0,25	2,10	2,45	1,61	1,89	1,40	1,61	1,26	1,47	1,19	1,40
f ≥ 1,00	1,20	1,40	0,92	1,08	0,80	0,92	0,72	0,84	0,68	0,80

La expresión del factor de forma, f, es:

$$f = \frac{S_{\text{exterior}}}{V_{\text{interior}}}$$

Donde:

$S_{\text{exterior}}$  = Superficie total de la envolvente del edificio incluyendo suelo y cubierta.

$V_{\text{interior}}$  = Volumen albergado por las superficies exteriores que pertenecen a la envolvente total de la vivienda.

Obteniendo para este caso específico un factor de forma de  $1,02 \text{ m}^{-1}$ .

Los datos de origen usados para obtener el valor de f vienen recogidos en la tabla 7.3.

Tabla 7.3: Datos de origen para el cálculo del factor de forma.

f	1,02
$S_{\text{exterior}}$	396,58
$V_{\text{interior}}$	387,70

7.2. POTENCIA TÉRMICA NECESARIA

Para determinar la potencia térmica necesaria, se puede usar para ello el valor de  $K_G$  calculado anteriormente o bien el límite  $K_G$  establecido en la norma.

La expresión para hallar la potencia térmica necesaria en vatios es:

$$P^* = K_G \cdot S_{\text{ext}} \cdot (T_a - T_e) + 0,35 \cdot N \cdot V_{\text{int}} \cdot (T_a - T_e)$$

$K_G$  = Coeficiente global de transmisión de calor de la vivienda.

$S_{\text{ext}}$  = Superficie total de la envolvente del edificio incluyendo suelo y cubierta.

$T_a$  = Temperatura ambiente interior de diseño en °C, considerando para superficies radiantes entre 18 °C y 23 °C.

$T_e$  = Temperatura exterior mínima de diseño. Se puede usar para ello, la media de la temperaturas mínimas diarias del mes más frío (consultar ANEXO C) o usar la figura del mapa 7.1, utilizando para las regiones A y B temperaturas entre 0 °C y 5 °C, para las región C, temperaturas entre 0 °C y-5 °C, y para las regiones D y E valores de -5 °C o inferiores.

$V_{\text{int}}$  = Volumen albergado por las superficies exteriores que pertenecen a la envolvente total de la vivienda.

$N$  = Tasa de renovación de aire, considerando la máxima en locales y viviendas como 0,55 renovaciones por hora.

Hay que reseñar, que se parte de la suposición, que la temperatura superficial de las paredes, suelo y techo es la misma temperatura que la temperatura del aire interior.

La potencia necesaria obtenida es de 9 422,21 W.

### 7.3. POTENCIA CORREGIDA

Para poder calcular la potencia corregida para cada estancia de la vivienda, primero se debe calcular primero la potencia térmica necesaria por unidad de superficie calefactora  $q^*$ , cuya expresión viene definida por:

$$q^* = \frac{P^*}{S_{\text{interior}}}$$

$q^*$  = Potencia térmica necesaria por unidad de superficie, en W/ m<sup>2</sup>.

Donde:

$P^*$  = Potencia térmica necesaria.

$S_{\text{interior}}$  = Superficie habitable, o superficie total a utilizar como emisor radiante, considerando además del suelo otras superficies de la vivienda, medida en m<sup>2</sup>.

Aplicando esta expresión, se obtiene un valor de 64,85 W/ m<sup>2</sup>.

Una vez obtenido el valor de la potencia térmica necesaria por unidad de superficie, se usará este dato para poder calcular la potencia corregida en cada estancia donde se instalará el suelo radiante.

Para esto, se aplicará una serie coeficientes correctores para ajustar dicha potencia a cada a las características de cada una de las estancias donde vaya a ir el emisor radiante, reflejando una serie de factores tales como:

- Coeficiente de seguridad,  $c_s$ , cuyo valor es 1,1, aumentando de esta manera un 10 % la potencia emisora de la superficie.
- Coeficiente que tiene en cuenta el número de paredes exteriores de la estancia en cuestión o bien su uso (baño o cocina),  $c_p$ , cuyos valores vienen definidos en la tabla 7.4.
- Coeficiente que tiene en cuenta la orientación geográfica de la estancia, sólo se aplicará en aquel caso que alguna de las paredes de la estancia se encuentre en la cara norte de la vivienda,  $c_n$ , los valores vienen reflejados en la tabla 7.4.
- Coeficiente que ajusta la potencia a cada tipo de pavimento (mármol o granito, cerámico o barro, parquet, P.V.C, moquetas, etc.), ya que cada material utilizado en los pavimentos tienen una conductividad térmica específica, además influye también el espesor de dicho pavimento,  $c_{pv}$ , se obtienen a partir de la figura 7.2.

Tabla 7.4: Valores coeficientes correctores de la potencia térmica por unidad de superficie. [6]

Otras estancias: numero de paredes exteriores			Tipo de estancia	
1	2	3	Baño o aseo	Cocina
1	1,1	1,2	1,3	0,9
Si la orientación es NORTE				
1,05	1,1	1,15	1,1	1,15

En la figura 7.2, se muestra la gráfica para la obtención del factor de corrección  $C_{pv}$ .

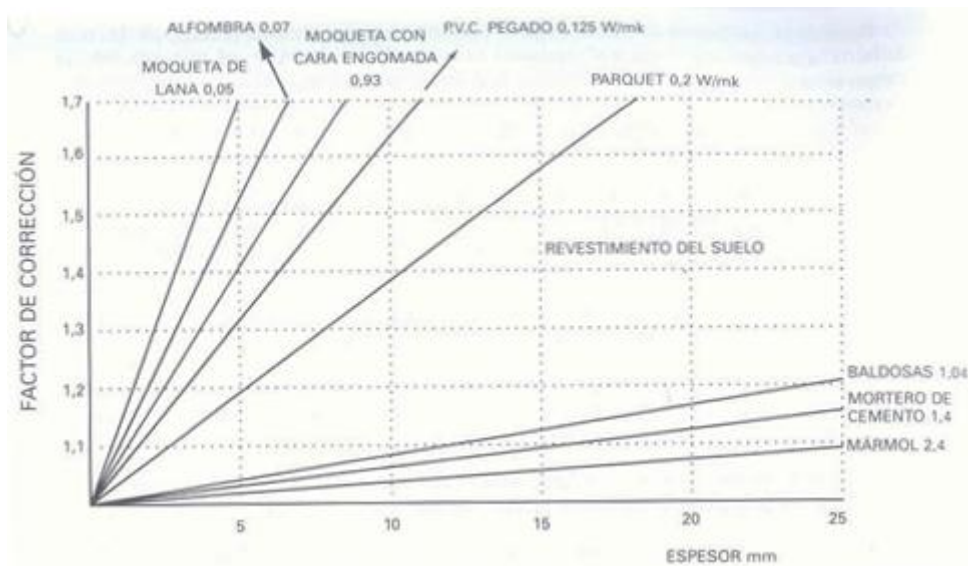


Figura 7.2: Factor de corrección  $C_{pv}$  según el tipo y el espesor del pavimento. [6]

Una vez aplicados los coeficientes correctores, se obtiene la expresión de la potencia corregida para cada estancia por unidad de superficie, expresada como:

$$q_h = c_s \cdot c_p \cdot c_n \cdot c_{pv} \cdot q^*$$

$q_h$  = Potencia corregida para cada estancia, expresada en  $W/m^2$ .

Obtenidos los datos sobre la potencia corregida en cada estancia por unidad de superficie, el siguiente paso es calcular la potencia real necesaria para cada estancia.

La expresión para obtenerla es:

$$P_h = q_h \cdot S_h$$

$P_h$  = Potencia real corregida para cada estancia, en W.

Siendo:

$q_h$  = Potencia corregida para cada estancia, expresada en  $W/m^2$ .

$S_h$  = Superficie de la estancia específica, medida en  $m^2$ .

En la tabla 7.5, se muestran los resultados para cada estancia de la vivienda al aplicar las expresiones de la potencia corregida por unidad de superficie y de la potencia real corregida para cada estancia de la vivienda.

Estancia	Superficie estancia (m <sup>2</sup> )	Potencia corregida por superf. (W/m <sup>2</sup> )	Potencia real (W)
PLANTA BAJA			
Aseo 1	3,9	116,28	348,85
Aseo 2	2,7	116,28	241,51
Cocina	11,1	84,16	992,89
Dormitorio 1	12,7	89,45	1136,01
Dormitorio 2	9,8	102,46	876,60
Salón	20,5	93,92	1833,71
Vestíbulo	10,2	85,38	912,38
PLANTA PRIMERA			
Baño 1	3,4	116,28	304,13
Baño 2	3,3	116,28	295,18
Despacho	6,8	102,46	696,73
Distribuidor	2,7	89,45	241,51
Dormitorio 3	12	107,34	1073,93
Dormitorio 4	13,6	107,34	1216,51
PLANTA BAJO - CUBIERTA			
Desván	32,6	97,58	3340,20

Esta potencia obtenida anteriormente hay que suministrarla desde la superficie útil de la estancia. El motivo de esta afirmación, es que en determinadas estancias, no todo el suelo va a ser aprovechado como emisor radiante, ya que habrá determinadas zonas que por razones de diseño y/o uso, no toda la potencia térmica de la determinada estancia podrá ser aprovechada totalmente o se hará pero con una eficiencia muy baja.

Ejemplos de esta situación es, en la cocina, parte de la superficie estará ocupada por los muebles; en el salón, si existiera una chimenea, esta superficie habría que

descontarla; en un baño, aquella superficie ocupada por la bañera y otros sanitarios no podrá ser utilizada como emisor radiante.

La expresión para la obtención de la potencia corregida,  $q_u$ , por unidad de superficie útil se define como:

$$q_u = \frac{P_h}{S_u} = q_h \cdot \frac{S_h}{S_u}$$

$q_u$  = Potencia corregida por unidad de superficie útil, en W/ m<sup>2</sup>.

Donde:

$P_h$  = Potencia real corregida para cada estancia, medida en W.

$S_u$  = Superficie útil de la estancia específica, expresada en m<sup>2</sup>.

$q_h$  = Potencia corregida para cada estancia, en W/ m<sup>2</sup>.

$S_h$  = Superficie de la estancia específica, medida en m<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos al aplicar la anterior expresión vienen reflejados en la tabla 7.6.

Tabla 7.6: Potencia corregida por unidad de superficie para cada estancia.

Estancia		Superficie útil estancia (m <sup>2</sup> )	Potencia corregida por superficie útil (W/m <sup>2</sup> )
PLANTA BAJA			
Aseo 1		3,9	151,17
Aseo 2		2,7	156,98
Cocina		11,1	103,80
Dormitorio 1		12,7	103,27
Dormitorio		9,8	111,57



2		
Salón	20,5	96,27
Vestíbulo	10,2	87,09
PLANTA PRIMERA		
Baño 1	3,4	197,68
Baño 2	3,3	191,87
Despacho	6,8	99,53
Distribuidor	2,7	80,50
Dormitorio	12	107,34
3		
Dormitorio	13,6	132,71
4		
PLANTA BAJO - CUBIERTA		
Desván	32,6	99,41

Conocida la potencia corregida por unidad de superficie útil, la temperatura en la superficie del suelo se estimará con la ayuda de la gráfica de la figura 7.3.

Dicha temperatura debe cumplir con el límite máximo establecido en la tabla 7.7. Esta temperatura máxima del suelo depende del uso de la estancia y oscilan entre los 26 °C y 35 °C.

Usando la gráfica de la figura 7.3, se puede comprobar que se cumplen los límites de la temperatura del suel, que se muestran en la tabla 7.7.

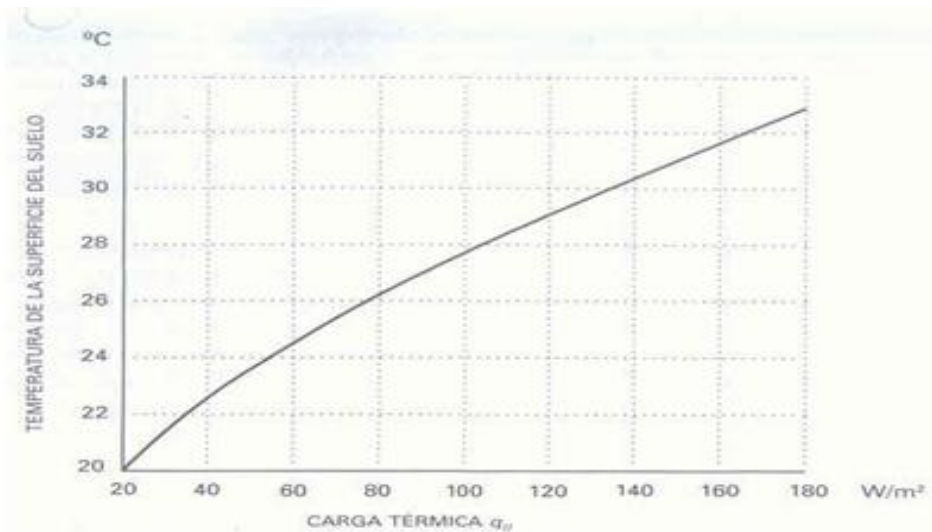


Figura 7.3: Temperatura de la superficie del suelo en función de su emisividad térmica. [6]

Tabla 7.7: Temperaturas máximas en régimen permanente máximas para cada superficie de suelo. [6]

Estancia	Temperatura máxima estancia ( °C)
Vivienda, zona de estar	26 - 29
Baños, duchas, aseos	33
Zonas laterales con grandes ventanales	35
Oficinas, etc.	25
Iglesias, etc.	26
Polideportivo, etc.	25
Piscinas, baños públicos, etc.	29

Para poder calcular la potencia térmica total o la carga térmica, P, se usará la siguiente expresión:

$$P = \sum_i q_{hi} \cdot Sh_i$$

La carga térmica se define como la potencia necesaria aportar a la vivienda en los momentos más frías del año, con temperatura exteriores mínimas de diseño.

La carga térmica de la instalación equivale a **14 206,35 vatios**.

Con esta carga térmica se puede escoger un generador de calor, en el caso que se detalla en este proyecto, se usará un generador de combustible gaseoso, en concreto, un generador compatible con gas natural.

Como la empresa instaladora es un distribuidor oficial de la marca comercial **FERROLI**, el generador elegido corresponderá a dicha marca, escogiéndose el **modelo ECONCEPT TECH 35C**, con una potencia nominal de **35 kilovatios** y un **rendimiento del 91,3 %**.

Estos datos vienen recogidos en la tabla 7.8.

Tabla 7.8: Características del modelo escogido de generador.

Caldera	Modelo	Marca	Potencia nominal (W)	Rendimiento
A.C.S. y CALEFACCIÓN	ECONCEPT TECH 35C	FERROLI	35 000	0, 913

**8. CONCLUSIONES Y RESULTADOS**

La principal conclusión que obtenida de este proyecto es, los paneles son una buena medida de eficiencia energética, ya que se obtiene un ahorro y un elevado rendimiento, aprovechando para ello la energía proporcionada por el sol sin ningún coste adicional, a excepción de la inversión inicial.

Un aspecto relacionado con el punto anterior, es que, a pesar del ahorro conseguido, se puede apreciar la gran cantidad de tiempo necesaria para la amortización de la inversión inicial, que se necesita para poner en marcha la instalación solar térmica.

Al ser una instalación de pequeño tamaño, el ahorro obtenido no es excesivamente grande en relación a la inversión necesaria, aunque se obtiene por otra parte un rendimiento importante, del orden del 70 % aproximadamente.

La suma de dinero que se ahorraría al año no es excesivamente grande, por lo tanto, esto conlleva un gran período de amortización, que se corresponde con aproximadamente 30 años, es decir, esto supone una cantidad de tiempo para el retorno muy considerable.

Debido a este dato, es obligatorio realizar una reflexión acerca de estos hechos. Desde el punto de vista económico, no sería una buena inversión el colocar captadores de energía solar térmica en una vivienda pequeña ya construida. Es decir, lo que se quiere expresar es, que el retorno obtenido de la inversión se produciría a largo plazo, para este proyecto específicamente, 30 años. Esto da lugar, a que en ese plazo de tiempo pueda deteriorarse la instalación y se disminuya su rendimiento, o simplemente que las condiciones originales sobre las que se diseñaron este proyecto pudieran verse alteradas.

Con esta reflexión, se afirma que debido a la obligación impuesta por la ley para, obligatoriamente, tener que colocar una fuente de energía alternativa en las edificaciones de reciente construcción, solamente en este caso podría ser rentable, ya que es un requisito obligatorio y por lo tanto, algo indispensable para poder llevar a cabo la edificación de la nueva vivienda. De esta manera se podría aprovechar esta circunstancia para incluir en el presupuesto final de la edificación, dicho coste de la

instalación, no asumiendo el coste de la instalación como un coste en sí mismo sino incluyéndolo en el coste total de la construcción.

En el caso, en que se tuviese un gran consumo de energía o de A.C.S. (hoteles, edificios de varias plantas, viviendas multifamiliares, etc.), solamente en este caso, la rentabilidad podría llegar a ser aceptable y por lo tanto se garantizaría la viabilidad de la instalación de paneles solares térmicos.

Otro aspecto básico a tener en cuenta, es, que la instalación sólo se puede destinar a un determinado uso, o para producción de A.C.S. o para calefacción mediante un suelo radiante o una bomba de calor, esto es debido a que el alcance máximo de la energía solar térmica está limitada exclusivamente a una función de las señaladas anteriormente.

Por lo tanto, la independencia energética no será total, ya que siempre se va a necesitar un sistema auxiliar o de apoyo, incurriendo esto en otro sobrecoste económico, con el consumo de combustible o electricidad.

En el caso del suelo radiante, se observa que es un sistema de calefacción bastante más eficiente que el sistema tradicional de emisores de calor. Esto es gracias a que la temperatura del fluido que va a circular por el circuito es bastante más baja que la del sistema tradicional, del orden de treinta o cuarenta grados centígrados más baja, por lo tanto el ahorro en términos de combustible va a ser bastante razonable, reduciendo el consumo al reducir la temperatura de funcionamiento del fluido.

En este sentido, es una gran ventaja con respecto a otros métodos, pero aun así existen dos grandes inconvenientes.

Por un lado, al circular un fluido a menor temperatura, será necesario un mayor tiempo de funcionamiento para obtener la temperatura ideal deseada, siendo esto un inconveniente en aquellas viviendas en las que la ocupación sea parcial durante un periodo de tiempo o que sea muy variable a lo largo del día, impidiendo que se realice el uso estable de la calefacción.

Otro inconveniente, es que, para llevar a cabo la instalación, se necesita realizar obras en la vivienda, originado por el propio sistema de funcionamiento del suelo radiante, generando incomodidades a los usuarios de la vivienda y también, lógicamente, costes económicos. Además, los propios materiales usados son más caros, y además se emplean una mayor cantidad, que los empleados en el sistema tradicional.

En el proyecto que se ha estudiado, como se puede comprobar es totalmente factible la instalación y uso de ambas instalaciones estudiados a lo largo de este proyecto, ya que los resultados obtenidos son satisfactorios desde el punto de vista del rendimiento y de las condiciones iniciales de la vivienda, además en ambas instalaciones se puede comprobar que han cumplido totalmente con la normativa específica por las que están reguladas.

## **9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

- Textos legislativos

Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura, Revisión 2002, I.D.A.E. [1]

Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y sus instrucciones complementarios (ITE). [2]

Sección HE 4 del Código Técnico de Edificación, “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”. [3]

- Referencias bibliográficas

VARIOS AUTORES: “Instalaciones de Energía Solar Sistemas de aprovechamiento térmico (Tomos I, II, III y IV)” Centro de Estudios de la Energía Solar, Editorial Progensa, Sevilla. Tercera Edición 2003. [4]

PEREDA SAUQUET, Pilar: “Proyecto y Cálculo de Instalaciones Solares Térmicas” Guía de Asistencia Técnica 17, Coam, Madrid, Noviembre 2006. [5]

ORTEGA RODRIGUEZ, Mario y Antonio: “Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes” Editorial Thomson – Paraninfo. [6]

- Referencias de Internet

<http://www.gasnaturalfenosa.es> [7]

<http://www.gomeber.com/radiante.html> [8]

<http://www.telefonica.net/web2/dae/introduccion%20termic.pdf> [9]

<http://www.terra.org/articulos/art01822.html> [10]

<http://maps.google.es> [11]

<http://www.ferroli.es> [12]

**INSTALACIÓN DE SUELO  
RADIANTE Y ENERGÍA  
SOLAR TÉRMICA EN UNA  
VIVIENDA UNIFAMILIAR.**

**DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO  
ECONÓMICO**



1. INTRODUCCIÓN

En el estudio económico se van a desarrollar los siguientes apartados: el coste de los materiales del suelo radiante, el coste estimado de los materiales para la instalación de las placas solares, el coste de la caldera de gas elegida, y además el estudio de la viabilidad del sistema de energía solar térmica respecto al sistema tradicional (combustión de gas para conseguir A.C.S.), dentro de dicho estudio se incluirá además el tiempo necesario para amortizar la inversión inicial mediante el ahorro obtenido con las placas solares.

2. COSTE MATERIALES SUELO RADIANTE

A continuación se expone en la tabla 8.1 con el coste de todos los materiales que se han usado para poder realizar la instalación del suelo radiante, esta lista ha sido proporcionada por el fabricante (FRANKISCHE IBERICA S.L.).

Tabla 8.1: Coste de los materiales de la instalación del suelo radiante.

Artículo	Descripción	Unidades	P.V.P	Importe EUR
00022	<b>Suelo radiante</b>			
00022	<b>Superficie total 145.19 m<sup>2</sup></b>			
R5401	Plancha NOPAS E23/45 D30 1,4 x 0,85 Paso 50 DIN	136	19,46	2646,56
R0185	Tubo PEX multi c/barrera 16 x 2 (Rollo 120 m.)	1080	1,15	1242,00
R0980	Rodapié c/lamina 8 x 160 mm Rollo 50 m	4	57,17	228,68
R0986	Fluidificante hormigón RTH Bidon 30 kgf	1	47,70	47,70
R0977	Junta dilatación 10 x 50 x 1200mm	14	7,98	111,72
R4056	Separador hidr. Caldera DN2 CP70 c/ deflector	1	192,7	192,7
00022	<b>Superficie planta baja 70,8 m<sup>2</sup></b>			
00022	<b>Colector planta baja de 8 salidas</b>			
R5546	Colector suelo radiante 8 salidas caud. a. inox.	1	281,11	281,11
R5654	Armario emp. 110 mm. galv. 725 mm. p/colec.	1	111,68	111,68
R2605	Adapt. Euroc. ¾" T.16 x 2 PEX y P/A/P DIN V3838	16	3,17	50,72
R5600	Llave esfera 1" H - 1" M. p/colector m. plano	2	14,49	28,98
R5610	Juegos 2 termómetros 0 - 80º C. p/colector	1	19,70	19,70
R5613	Purgador automático p/colector	2	9,10	18,20
R1354	Protector salida a colector 16 - 20	16	2,17	26,04
R5616	Actuador valv. 230 V. p/colec. s/ rad. M30	4	30,00	120,00
R1376	Caja conexiones collector 230 V. s/parada bomba	1	127,60	127,60
R1377	Parada bomba 230 V para caja conex. R1376	1	17,30	17,30

Artículo	Descripción	Unidades	P.V.P	Importe EUR
00022	<b>Colector planta primera de 6 salidas</b>			
R5544	Colector suelo radiante 6 sal. caud. a. inox.	1	219,40	219,40
R5654	Armario emp. 110 mm. galv. 725 mm. p/colec.	1	111,68	111,68
R2605	Adapt. euroc. ¾" t.16 x2 PEX y p/a/p DIN v383	12	3,17	38,04
R5610	Juegos 2 termómetros 0 - 80° C. p/colector	1	19,70	19,70
R5613	Purgador automático p/colector	2	9,10	18,20
R1368	Termostato Ret 230 electrónico 230 V	3	37,14	111,42
R1354	Protector salida a colector 16 - 20	12	2,17	26,04
R5616	Actuador valv. 230 V. p/colec. s/ rad. M30	3	30,00	90,00
R1376	Caja conexiones collector 230 V. s/parada bomba	1	127,60	127,60
R1377	Parada bomba 230 V para caja conex. R1376	1	17,30	17,30
00022	<b>Superficie planta bajo cubierta 32,64 m²</b>			
00022	<b>Colector planta bajo cubierta de 2 salidas</b>			
R5540	Colector suelo radiante 2 salidas caud. a. inox.	1	95,97	95,97
R5650	Armario emp. 110 mm galv. 385 mm p/colect.	1	83,84	83,84
R2605	Adapt. Euroc. ¾" T.16 x 2 PEX y p/a/p DIN V3838	4	3,17	12,68
R5610	Juegos 2 termómetros 0 - 80° C. p/colector	1	19,70	19,70
R5601	Llave esfera ¾" H - 1" M. p/colector m. plano	2	9,77	19,54
R5613	Purgador automático p/colector	2	9,10	18,20
R1368	Termostato Ret 230 electrónico 230 V	1	37,14	37,14
R1354	Protector salida a colector 16 - 20	4	2,17	8,68
R5616	Actuador valv. 230 V. p/colec. s/ rad. M30	2	30,00	60,00
R1376	Caja conexiones collector 230 V. s/parada bomba	1	127,60	127,60
R1377	Parada bomba 230 V para caja conex. R1376	1	17,30	17,30
00022	Modulo de mezcla			
R4021	Mod. Mezcla 3 vías p. fijo WILO RS25/ 6 - 3	1	592,88	592,88
R4081	Soporte pared mod. mezcla - p. fijo - alta t. DN25 s	1	24,82	24,82

Base imponible (EUR)	7308,12
IVA 21 % (EUR)	1534,56
Total (EUR)	8842,68

3. COSTE MATERIALES PLACAS SOLARES A.C.S.

En este apartado, se va a incluir los precios de fábrica proporcionados por la empresa suministradora del material necesario para llevar a cabo la instalación (FERROLI ESPAÑA S.A.). Los precios se expresan a expresar en la tabla 8.2.

Como la empresa encargada de la instalación, es un distribuidor oficial y también servicio técnico de FERROLI ESPAÑA S.A., los materiales con los que se va a trabajar pertenecerán a este fabricante.

Tabla 8.2: Coste de los materiales de la instalación solar térmica. [12]

Artículo	Descripción	Unidades	P.V.P (EUR)
Paneles solares	FERROLI ECOTOP VF 2.3	2	1280
Interacumulador	ECOSYSTEM 300	1	3345
Estructura fijación	ESTRUCTURA INSTALACION CUBIERTA INCLINADA CON TORNILLOS	1	225
Kit hidráulico	KIT HIDRAULICO FERROLI	1	500
Líquido solar	LIQUIDO SOLAR FERROLI BIDÓN 5 LITROS	1	47

Base imponible (EUR)	5 397
IVA 21% (EUR)	1133,37
Total (EUR)	6530,37

4. COSTE CALDERA DE GAS

Como anteriormente se ha mencionado, la empresa instaladora trabaja de manera exclusiva con FERROLI ESPAÑA S.A. como distribuidor oficial de dicho fabricante. Por lo tanto, la caldera escogida corresponderá al catalogo que posee dicho distribuidor. La caldera escogida es el modelo ECONCEPT TECH 35C. Los datos técnicos de la caldera vienen expresados en la tabla 8.3.

Tabla 8.3: Coste del sistema de apoyo. [12]

Caldera	Modelo	Marca	Coste (euros)
A.C.S. y CALEFACCIÓN	ECONCEPT TECH 35C	FERROLI	1 715

Base imponible (EUR)	1 715
IVA 21 % (EUR)	360,15
Total (EUR)	2075,15

5. PRESUPUESTO ESTIMADO DE TODA LA INSTALACIÓN

En este apartado, se expondrá el presupuesto estimado de la instalación. Hay que aclarar, que se habla de estimación, ya que se incluye exclusivamente los costes de los materiales que se han empleado en la instalación, por lo tanto, no se tendrá en cuenta el coste de la mano de obra empleada y otros costes relacionados, que lógicamente harán que el presupuesto expuesto en este apartado aumente su coste.

En la tabla 8.4, se expone el presupuesto estimado total de todas las instalaciones.

Tabla 8.4: Presupuesto aproximado de toda la instalación.

Tipo de partida	Descripción partida del presupuesto	Coste de la partida (EUR)
Partida Nº 1	Materiales suelo radiante	8842,68
Partida Nº 2	Materiales placas solares A.C.S.	6530,37
Partida Nº 3	Caldera de gas	2075,15
COSTE TOTAL PRESUPUESTO		17 448,2 €

El presupuesto estimado asciende a una cantidad aproximada de **DIECISEIS MIL OCHOCIENTOS TREINTA Y NUEVE EUROS.**

6. ESTUDIO PLACA SOLARES PARA A.C.S

Antes de empezar con el estudio, se analizaran los datos calculados relativos al consumo de energía destinada a conseguir A.C.S. que se han obtenido en la memoria del proyecto. Estos datos, que se usaran como base en el estudio, se encuentran recogidos en la tabla 8.5.

Como se puede ver la energía necesaria para producir A.C.S. en un año corresponde a 5155 kWh, según las necesidades requeridas por los habitantes de la vivienda.

Tabla 8.5: Datos sobre consumo de energía para producción de A.C.S.

DEMANDA POR CONSUMO A.C.S														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Media Anual	Anual
Días computables	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30	365 días
Consumo mensual de agua	7440	6720	7440	7200	7440	7200	7440	7440	7200	7440	7200	7440	7300	87600 litros
Incremento Tª	55,00	54,00	52,00	50,00	49,00	48,00	47,00	48,00	49,00	50,00	52,00	55,00	50,75	50,75 ºC
Energía necesaria consumo ACS (kWh)	474,67	420,94	448,78	417,60	422,89	400,90	405,63	414,26	409,25	431,52	434,30	474,67	429,62	5155 kWh

Se va a contar como un término fijo el coste de la caldera que servirá como sistema auxiliar de apoyo, tanto para el cálculo mediante las placas solares como mediante la combustión de combustibles fósiles (para este caso en concreto, el elegido es el gas natural). Por lo tanto el coste de la caldera elegida viene reflejado en la tabla 8.6.

Tabla 8.6: Características de la caldera de gas.

Caldera	Modelo	Marca	Coste (EUR)
A.C.S. y CALEFACCIÓN	ECONCEPT TECH 35C	FERROLI	2075,15

Por lo tanto, se trabajará con el diferencial existente entre un método y otro, ya que el coste de la caldera será el mismo para ambos casos. En un caso, debido a que será la unidad principal generadora de calor de la vivienda y en el otro caso, servirá como sistema de apoyo.

7. METODO MEDIANTE COMBUSTION DE GAS

Con el dato de la energía citado anteriormente, se va a calcular el coste necesario usando la combustión de gas, para ello se utilizará como referencia los precios proporcionados por la compañía Gas Natural, que se exponen en la tabla 8.7.

Como la vivienda posee 3 plantas mas garaje (planta baja, planta primera y desván) se elegirá la tarifa de consumo medio - alto (Gas Familia) cuyo término variable es 0,046 €/kWh consumido. Aplicando la siguiente fórmula:

Coste Anual = Consumo necesario anual x Precio término variable = 5155 kWh x 0,046 €/kWh = 237,14 euros.

A esta cantidad obtenida habrá que sumarle el coste del término fijo mensual a lo largo del año.

Tabla 8.7: Tarifas de suministro de gas a particulares de la empresa Gas Natural S.A.

Tipo de consumo	Tarifa aconsejada	Término fijo €/mes	Término variable €/kWh.
<b>CONSUMO BAJO</b> (gas para cocinar y agua caliente)	Gas Básica	4,09	0,056
<b>CONSUMO MEDIO</b> (calefacción de gas natural)	Gas Óptima	8,33	0,049
<b>CONSUMO MEDIO-ALTO</b> (calefacción de gas natural en hogares de gran tamaño)	Gas Familia	10,08	0,046
<b>CONSUMO ALTO</b> Consumos entre 50.000 y 100.000 kWh/año)	Plus Prima	47,91	0,050

Coste Anual Total = Coste Anual + (Término fijo x 12) = 237,14 euros + (10,08 euros/mes x 12 meses) = 358,10 euros.

El coste anual correspondiente al método mediante combustión de gas equivale a 358,10 euros.

A este coste habrá que añadirle el coste del I.V.A. al 21%.

Coste real Anual = Coste Anual Total + (Coste Anual Total x 0,21) = **433,301 euros**.

El coste anual real corresponde a **433,30 euros**.

**8. METODO MEDIANTE PLACAS SOLARES PARA GENERACION DE A.C.S.**

Gracias al aporte de energía de las placas, se conseguirá ahorrar un porcentaje de la energía necesaria para conseguir A.C.S.

Según los datos obtenidos en la memoria, el porcentaje de fracción solar conseguida es del 68,86 %.

Por lo tanto, la energía aportada por las placas solares será:

Energía aportada = Fracción solar aportada x Energía necesaria A.C.S. =  $68,86/100 \times 5155 \text{ kWh} = 3549,73 \text{ kWh}$ .

El ahorro energético obtenido corresponde a 3549,73 kWh.

En términos económicos, este ahorro equivaldría a:

Coste energía ahorrada =  $3\,549 \text{ kWh} \times 0,046 \text{ €/kWh} = 163,26 \text{ euros}$ .

Coste real energía ahorrada (I.V.A. 21%) =  $163,26 \times 1,21 = 197,56 \text{ euros}$ .

Una vez obtenidos estos datos, se hallará la cantidad de energía que debería aportar el sistema de apoyo (caldera de gas) que corresponderá a:

Energía necesaria sistema apoyo = Energía total - Energía aportada placas solares =  $5155 \text{ kWh} - 3549 \text{ kWh} = 1606 \text{ kWh}$ .

Transformando este resultado obtenido en términos económicos, se obtendrá una cantidad de:

Coste energía sistema de apoyo = Energía necesaria sistema apoyo x Precio término variable =  $1606 \text{ kWh} \times 0,046 \text{ €/kWh} = 73,88 \text{ euros}$ .

A este resultado, habrá que sumarle el coste del término fijo impuesto por la compañía proveedora de gas natural:

Coste total energía sistema apoyo = Coste energía sistema apoyo + (Coste término fijo x 12 meses) =  $73,88 \text{ €} + (10,08 \text{ euros/mes} \times 12 \text{ meses}) = 194,84 \text{ euros}$ .

El coste anual correspondiente al método mediante placas solares en relación al consumo del sistema de apoyo para A.C.S equivale a 194,84 euros.

A este coste habría que añadirle el coste del I.V.A. al 21%.

Coste real Anual = Coste Anual Total + (Coste Anual Total x 0,21) = **235,76 euros.**

El coste anual real corresponde a **235,76 euros.**

El ahorro anual en término de gas equivale a:

Ahorro total = Coste anual sistema por combustión - Coste anual sistema por placas solares = 433,30 € - 235,76 € = **197,54 euros.**

## **9. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Con los datos obtenidos, se procederá a calcular el tiempo necesario para poder amortizar la inversión llevada a cabo para la instalación de las placas solares, teniendo en cuenta que las condiciones de energía recibida del sol a lo largo de todos los años serán las mismas, y no se tendrá en cuenta tampoco el incremento anual que pudiera producirse en los precios del gas.

Para ello, hay que recordar que la inversión necesaria para adquirir la caldera de gas corresponde a 2075 ,15euros. Por lo tanto, esta cantidad habrá que descontarla de la inversión inicial calculada para la instalación de las placas solares, ya que en ambos casos es necesaria e insustituible la instalación de la caldera de gas ya sea como el sistema principal o como sistema de apoyo de generación de calor.

En la tabla 8.8, se encuentra un resumen de los resultados obtenidos anteriormente.

Por lo tanto, la cantidad necesaria como inversión inicial sería de:



Inversión inicial placas solares A.C.S. = Inversión inicial total - Inversión caldera de gas = 8605,52 euros – 2075,15 = **6530,37 euros**.

Tabla 8.8: Resumen de datos obtenidos

	Método combustión de gas	Método placas solares para A.C.S.
Inversión inicial total	2075,15 €	8605,52 €
Energía necesaria A.C.S.	5155 kWh	5155 kWh
Energía anual aportada por caldera/sistema de apoyo	5155 kWh	1606 kWh
Energía ahorrada	0 kWh	3549 kWh
Coste energía necesaria A.C.S.	433,30 €	433,30 €
Coste término fijo (12 meses)	120,96 €	120,96 €
Coste término variable	273,14 €	73,88 €
Coste energía aportada por caldera/sistema de apoyo	433,30 €	235,76 €
Coste energía ahorrada	0 €	197,54 €

Teniendo en cuenta el ahorro obtenido por las placas, en relación al método tradicional, que corresponde a 163,26 euros, se calculará el tiempo necesario para poder recuperar la inversión inicial realizada gracias al ahorro obtenido por las placas.

Tiempo recuperación de inversión inicial =  $\frac{\text{Inversión inicial placas solares A.C.S.}}{\text{Coste energía ahorrada}}$  =  $\frac{6530,37 \text{ euros}}{197,54 \text{ euros/año}}$  = **33 años y 22 días**.

**INSTALACIÓN DE SUELO  
RADIANTE Y ENERGÍA  
SOLAR TÉRMICA EN UNA  
VIVIENDA UNIFAMILIAR.**

**DOCUMENTO N° 3: PLIEGO DE  
CONDICIONES**

## **1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Se desea fijar las condiciones técnicas que deben cumplir las instalaciones solares térmicas para calentamiento de líquido o fluido, especificando los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad.

El campo de aplicación de este documento se extiende a todos los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos que forman parte de las instalaciones.

## **2. GENERALIDADES**

Este Pliego de Condiciones Técnicas (PCT) es de aplicación para instalaciones con captadores cuyo coeficiente global de pérdidas sea inferior o igual a  $9 \text{ W/(m}^2\text{A}^\circ\text{C)}$ .

A efectos de requisitos mínimos, se consideran las siguientes clases de instalaciones:

- Sistemas solares de calentamiento prefabricados: son aquellos lotes de productos con una marca registrada, que son vendidos como equipos completos y listos para instalar, con configuraciones fijas. Los sistemas de esta categoría se consideran como un solo producto.
- Sistemas solares de calentamiento a medida o por elementos: son aquellos sistemas contruidos de forma única, o montados, eligiéndolos de una lista de componentes.

Los sistemas solares de calentamiento a medida se subdividen en dos categorías:

- Sistemas grandes a medida: aquellos diseñados únicamente para una situación específica.
- Sistemas pequeños a medida: aquellos ofrecidos por una Compañía y descritos de esta manera en el llamado archivo de clasificación, en el cual se especifican todos los componentes y posibles configuraciones de los sistemas fabricados por la Compañía.

Según el coeficiente global de pérdidas de los captadores, se considerarán, a efectos limitantes, dos grupos dependiendo del rango de temperatura de trabajo:

- Las instalaciones destinadas exclusivamente a producir agua caliente sanitaria, calentamiento de piscinas, precalentamiento de agua de aporte de procesos industriales, calefacción por suelo radiante o “fan-coil” u otros usos a menos de  $60^\circ\text{C}$ .

### **3. PROTECCIÓN CONTRA HELADAS**

El fabricante, suministrador final, instalador o diseñador del sistema deberá fijar la mínima temperatura permitida en el sistema. Todas las partes del sistema que estén expuestas al exterior deberán ser capaces de soportar la temperatura especificada sin daños permanentes en el sistema.

Cualquier componente que vaya a ser instalado en el interior de un recinto donde la temperatura pueda caer por debajo de los 0 °C, deberá estar protegido contra heladas.

El fabricante deberá describir el método de protección anti-heladas usado por el sistema. A los efectos de este documento, como sistemas de protección anti-heladas podrán utilizarse:

- Mezclas anticongelantes.
- Recirculación de agua de los circuitos.
- Drenaje automático con recuperación de fluido.
- Drenaje al exterior (sólo para sistemas solares prefabricados).

#### **MEZCLAS ANTICONGELANTES**

Como anticongelantes podrán utilizarse los productos, solos o mezclados con agua, que cumplan la reglamentación vigente y cuyo punto de congelación sea inferior a 0 °C (\*).

Se deberán tomar precauciones para prevenir posibles deterioros del fluido anticongelante como resultado de condiciones altas de temperatura.

La instalación, dispondrá de los sistemas necesarios para facilitar el llenado de la misma y para asegurar que el anticongelante se mezcla de manera correcta.

Es conveniente que se disponga de un depósito auxiliar para reponer las pérdidas que se puedan dar del fluido en el circuito, de forma que nunca se utilice un fluido para la reposición cuyas características incumplan el Pliego.

En cualquier caso, el sistema de llenado no permitirá las pérdidas de concentración producidas por fugas del circuito y resueltas con reposición de agua de red.

#### **RECIRCULACIÓN DEL AGUA DEL CIRCUITO**

Este método de protección anti-heladas asegurará que el fluido de trabajo está en movimiento cuando exista riesgo de helarse.

El sistema de control actuará, activando la circulación del circuito primario, cuando la temperatura detectada preferentemente en la entrada de captadores o salida o aire

ambiente circundante alcance un valor superior al de congelación del agua (como mínimo 3 °C).

Este sistema es adecuado para zonas climáticas en las que los períodos de baja temperatura sean de corta duración.

Se evitará, siempre que sea posible, la circulación de agua en el circuito secundario.

### **DRENAJE AUTOMÁTICO CON RECUPERACIÓN DEL FLUIDO**

El fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente, es drenado a un depósito, para su posterior uso, cuando exista riesgo de heladas.

El sistema de control actuará sobre la electroválvula de drenaje cuando la temperatura detectada en captadores alcance un valor superior al de congelación del agua (como mínimo 3 °C).

El vaciado del circuito se realizará a un tanque auxiliar de almacenamiento, debiéndose prever un sistema de llenado de captadores para recuperar el fluido.

El sistema requiere utilizar un intercambiador de calor entre los captadores y el acumulador para mantener en éste la presión de suministro de agua caliente.

### **SISTEMAS DE DRENAJE AL EXTERIOR (SÓLO PARA SISTEMAS SOLARES PREFABRICADOS)**

El fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente, es drenado al exterior cuando hay riesgo de heladas.

Este sistema no está permitido en los sistemas solares a medida.

#### **4. SOBRECALENTAMIENTOS**

##### **PROTECCIÓN CONTRA SOBRECALENTAMIENTOS**

El sistema deberá estar diseñado de manera que cuando se den altas radiaciones solares prolongadas sin consumo de agua caliente, no se produzcan situaciones en las cuales el usuario tenga que realizar alguna acción especial para llevar al sistema a su forma normal de operación.

Cuando el sistema disponga de la posibilidad de drenajes como protección ante sobrecalentamientos, la construcción, deberá realizarse de tal forma que el agua caliente o vapor del drenaje, no supongan ningún peligro para los habitantes del edificio o vivienda y no se produzcan daños en el sistema, ni en ningún otro material en el edificio o vivienda.

Cuando las aguas sean duras, se realizarán las previsiones necesarias para que la temperatura de trabajo de cualquier punto del circuito de consumo, no sea superior a 60 °C, sin perjuicio de la aplicación de los requerimientos necesarios contra la legionela.

##### **PROTECCIÓN CONTRA QUEMADURAS**

En sistemas de agua caliente sanitaria, donde la temperatura de agua caliente en los puntos de consumo pueda exceder de 60 °C, deberá ser instalado un sistema automático de mezcla u otro sistema que limite la temperatura de suministro a 60 °C, aunque en la parte solar pueda alcanzar una temperatura superior para sufragar las pérdidas.

##### **PROTECCIÓN DE MATERIALES Y COMPONENTES CONTRA ALTAS TEMPERATURAS.**

El sistema deberá ser diseñado de tal forma que nunca se exceda la máxima temperatura permitida por todos los materiales y componentes.

## **5. OTROS SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN**

### **RESISTENCIA A PRESIÓN**

En caso de sistemas de consumo abiertos con conexión a la red, se tendrá en cuenta la máxima presión de dicha red para verificar que todos los componentes del circuito de consumo soportan dicha presión.

### **PREVENCIÓN DE FLUJO INVERSO**

La instalación del sistema deberá asegurar que no se produzcan pérdidas energéticas relevantes debidas a flujos inversos no intencionados en ningún circuito hidráulico del sistema.

En sistemas con circulación forzada, es aconsejable utilizar una válvula anti-retorno para evitar flujos inversos.

### **PREVENCIÓN DE LA LEGIONELOSIS**

La temperatura del agua en el circuito de distribución de agua caliente, no deberá ser inferior a 50 °C en el punto más alejado y previo a la mezcla necesaria para la protección contra quemaduras o en la tubería de retorno al acumulador.

La instalación permitirá que el agua alcance una temperatura de 70 °C. En consecuencia, no se admite la presencia de componentes de acero galvanizado.

## **6. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO**

### **DIMENSIONADO Y CÁLCULO**

Los datos de partida necesarios para el dimensionado y cálculo de la instalación están constituidos por dos grupos de parámetros que definen las condiciones de uso y climáticas.

### **CONDICIONES DE USO**

Las condiciones de uso vienen dadas por la demanda energética asociada a la instalación según los diferentes tipos de consumo:

- Para aplicaciones de A.C.S., la demanda energética se determina en función del consumo de agua caliente.
- Para aplicaciones de calentamiento de piscinas, la demanda energética se calcula en función de las pérdidas de la misma.
- Para aplicaciones de climatización (calefacción y refrigeración), la demanda energética viene dada por la carga térmica del habitáculo a climatizar.
- Para aplicaciones de uso industrial se tendrá en cuenta la demanda energética y potencia necesaria, realizándose un estudio específico y pormenorizado de las necesidades.
- Para instalaciones combinadas se realizará la suma de las demandas energéticas sobre base diaria o mensual, aplicando si es necesario factores de simultaneidad.

### **CONDICIONES CLIMÁTICAS**

Las condiciones climáticas vienen dadas por la radiación global total en el campo de captación, la temperatura ambiente diaria y la temperatura del agua de la red.

Podrán utilizarse datos de radiación publicados por entidades de reconocido prestigio y los datos de temperatura publicados por el Instituto Nacional de Meteorología.

A falta de otros datos, se recomienda usar las tablas de radiación y temperatura ambiente por provincias publicadas por Censolar.

Para piscinas cubiertas, los valores ambientales de temperatura y humedad deberán ser fijados en el proyecto, la temperatura seca del aire del local será entre 2 °C y 3 °C mayor que la del agua, con un mínimo de 26 °C y un máximo de 28 °C, y la humedad relativa del ambiente se mantendrá entre el 55 % y el 70 %, siendo recomendable escoger el valor de diseño 60 %.



## DIMENSIONADO BÁSICO

El dimensionado básico de las instalaciones o sistemas a medida, se especifica a la selección de la superficie de captadores solares y, en caso de que exista, al volumen de acumulación solar, para la aplicación a la que está destinada la instalación.

El dimensionado básico de los sistemas solares prefabricados se refiere a la selección del sistema solar prefabricado para la aplicación de A.C.S. a la que está destinado.

El dimensionado básico de una instalación, para cualquier aplicación, deberá realizarse de forma que en ningún mes del año la energía producida por la instalación solar supere el 110 % de la demanda de consumo y no más de tres meses seguidos el 100 %.

El rendimiento de la instalación, se refiere sólo a la parte solar de la misma.

A estos efectos, se definen los conceptos de fracción solar y rendimiento medio estacional o anual de la siguiente forma:

Fracción solar mes “x” =  $(\text{Energía solar aportada el mes “x”} / \text{Demanda energética durante el mes “x”}) \times 100$

Fracción solar año “y” =  $(\text{Energía solar aportada el año “y”} / \text{Demanda energética durante el año “y”}) \times 100$

Rendimiento medio año “y” =  $(\text{Energía solar aportada el año “y”} / \text{Irradiación incidente año “y”}) \times 100$

Irradiación incidente año “y” = Suma de las irradiaciones incidentes de los meses del año “y”  
Irradiaciones incidentes en el mes “x” = Irradiación en el mes “x”  $\times$  Superficie captadora

El concepto de energía solar aportada el año “y” se refiere a la energía demandada realmente satisfecha por la instalación de energía solar. Esto significa que para su cálculo nunca podrá considerarse más de un 100 % de aporte solar en un determinado mes.

Para el cálculo del dimensionado básico de instalaciones a medida, se utilizará cualquiera de los métodos de cálculo comerciales de uso aceptado por proyectistas, fabricantes e instaladores.

El método de cálculo especificará, al menos sobre base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y del aporte solar.

Asimismo, el método de cálculo incluirá las prestaciones globales anuales definidas por:

- La demanda de energía térmica.

- La energía solar térmica aportada.
- Las fracciones solares medias mensuales y anuales.
- El rendimiento medio anual.

En el caso de A.C.S. se debe tener en cuenta que el sistema solar se debe diseñar y calcular en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda y el aporte, al no ser ésta simultánea con la generación.

Para esta aplicación el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < V/A < 180$$

Donde:

A será el área total de los captadores, expresada en m<sup>2</sup>.

V es el volumen del depósito de acumulación solar, expresado en litros, cuyo valor recomendado es aproximadamente la carga de consumo diaria M:  $V = M$ .

Además, para instalaciones con fracciones solares bajas, se deberá considerar el uso de relaciones V/A pequeñas y para instalaciones con fracciones solares elevadas se deberá aumentar dicha relación.

## **7. DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN**

El captador seleccionado deberá poseer la certificación emitida por un organismo competente en la materia, según la legislación vigente.

A efectos de este PCT, será necesaria la presentación de la certificación de los ensayos del captador realizados por laboratorio acreditado, así como las curvas de rendimiento obtenidas por el citado laboratorio.

Se recomienda que los captadores que integren la instalación sean del mismo modelo, tanto por criterios energéticos como por criterios constructivos.

### **ORIENTACIÓN, INCLINACIÓN, SOMBRAS E INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA**

La orientación e inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites especificados en el CTE.

Se considerarán tres casos: general, superposición de captadores e integración arquitectónica según se define más adelante.

En todos los casos se han de cumplir tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores óptimos.

Se considera la dirección Sur como orientación óptima y la mejor inclinación,  $\beta_{opt}$  dependiendo del período de utilización, uno de los valores siguientes:

- Consumo constante anual: la latitud geográfica.
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica + 10°.
- Consumo preferente en verano: la latitud geográfica - 10°.

Se debe evaluar la disminución de prestaciones originadas al modificar la orientación e inclinación de la superficie de captación.

Se considera que existe integración arquitectónica cuando los captadores cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales.

Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal del absorbedor, con el fin de favorecer la auto limpieza de los captadores.

Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

## **CONEXIONADO**

Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie- paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.

Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante.

La superficie de una fila de captadores conexicionados en serie no será superior a 10 m<sup>2</sup>.

En el caso de A.C.S., el número de captadores conexicionados en serie no será superior a lo fijado en el CTE, sección H4 (“Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”).

Se dispondrá de un sistema para asegurar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. En general, se debe alcanzar un flujo equilibrado mediante el sistema de retorno invertido. Si esto no es posible, se puede controlar el flujo mediante mecanismos adecuados, como válvulas de equilibrado.

Se deberá prestar especial atención en la estanqueidad y durabilidad de las conexiones del captador.

## **ESTRUCTURA SOPORTE**

Si el sistema posee una estructura soporte que es montada normalmente en el exterior, el fabricante deberá especificar los valores máximos de  $s_k$  (carga de nieve) y  $v_m$  (velocidad media de viento) de acuerdo a la normativa.

Esto deberá verificarse durante el diseño calculando los esfuerzos de la estructura soporte de acuerdo con estas normas.

El sistema sólo podrá ser instalado en localizaciones donde los valores de  $s_k$  y  $v_m$  determinados por la normativa, sean menores que los valores máximos especificados por el fabricante.

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de captadores, permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o al circuito hidráulico.

Los puntos de sujeción del captador serán suficientes en número, teniendo el área de apoyo y la posición relativa adecuada, de forma que no se produzcan flexiones en el captador superiores a las permitidas por el fabricante.

Los topes de sujeción de los captadores y la propia estructura no arrojarán sombra sobre estos últimos.

## **8. DISEÑO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN SOLAR**

Los acumuladores para A.C.S. y las partes de acumuladores combinados que estén en contacto con agua potable, deberán cumplir los requisitos específicos en la normativa.

Preferentemente, los acumuladores serán de configuración vertical y se ubicarán en zonas interiores.

Para aplicaciones combinadas con acumulación centralizada, es obligatoria la configuración vertical del depósito, debiéndose además cumplir que la relación altura/diámetro del mismo sea mayor de dos.

En caso, que el acumulador esté directamente conectado con la red de distribución de agua caliente sanitaria, deberá ubicarse un termómetro en un sitio claramente visible por el usuario. El sistema deberá ser capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60 °C y hasta 70 °C con objeto de prevenir la legionelosis.

En caso de aplicaciones para A.C.S., es necesario prever un conexionado puntual entre el sistema auxiliar y el solar de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar, para poder cumplir con las medidas de prevención de legionela. Se podrán proponer otros métodos de tratamiento anti legionela.

Aun cuando los acumuladores solares tengan el intercambiador de calor incorporado, se cumplirán los requisitos establecidos para el diseño del sistema de intercambio en el PCT del IDAE.

Los acumuladores de los sistemas grandes a medida con un volumen mayor de 2 m<sup>3</sup>, deberán llevar válvulas de corte u otros sistemas adecuados para cortar flujos al exterior del depósito no intencionados en caso de daños del sistema.

### **SITUACIÓN DE LAS CONEXIONES**

Con objeto de aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de la estratificación por temperatura en los depósitos, la situación de las tomas para las diferentes conexiones serán las establecidas en los puntos siguientes:

- La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al acumulador, se realizará a una altura comprendida entre el 50 % y el 75 % de la altura total del mismo.
- La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste.
- En caso de una sola aplicación, la alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realizará por la parte inferior. La extracción de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.

- En caso de varias aplicaciones dentro del mismo depósito, habrá que tener en cuenta los niveles térmicos de éstas, de forma que tanto las salidas como los retornos para aplicaciones que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas, estén por encima de las que requieran un nivel menor.

Se recomienda que la/s entrada/s de agua de retorno de consumo esté equipada con una placa deflectora en la parte interior, a fin de que la velocidad residual no destruya la estratificación en el acumulador o el empleo de otros métodos contrastados que minimicen la mezcla.

Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido.

### **SISTEMA AUXILIAR EN EL ACUMULADOR SOLAR**

No se permite la conexión de un sistema auxiliar en el acumulador solar, ya que esto puede suponer una disminución de las posibilidades de la instalación solar para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden obtener con este tipo de instalaciones.

Para los equipos prefabricados que no cumpliendo lo indicado anteriormente en este apartado, vengán preparados de fábrica para albergar un sistema auxiliar eléctrico, se deberá anular esta posibilidad de forma permanente, mediante sellado irreversible u otro medio.

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE INTERCAMBIO**

La potencia mínima de diseño del intercambiador independiente,  $P$ , en vatios, en función del área de captadores  $A$ , en metros cuadrados, cumplirá la condición:

$$P \geq 500 A$$

El intercambiador independiente será de placas de acero inoxidable o cobre y deberá soportar las temperaturas y presiones máximas de trabajo de la instalación.

El intercambiador del circuito de captadores incorporado al acumulador solar estará situado en la parte inferior de este último y podrá ser de tipo sumergido o de doble envolvente.

El intercambiador sumergido podrá ser de serpentín o de haz tubular. La relación entre la superficie útil de intercambio del intercambiador incorporado y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

En caso de aplicación para A.C.S., se utilizará el circuito de consumo con un intercambiador, teniendo en cuenta que con el sistema de energía auxiliar de producción instantánea en línea o en acumulador secundario hay que elevar la temperatura hasta 60 °C y siempre en el punto más alejado de consumo hay que asegurar 50 °C.

## **9. DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO**

Debe concebirse en fase de diseño un circuito hidráulico equilibrado. Si no fuera posible, el flujo debe ser controlado por válvulas de equilibrado.

En caso de aplicación para A.C.S., el circuito hidráulico del sistema de consumo deberá cumplir los requisitos especificados en la normativa.

### **TUBERÍAS**

Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible, evitando al máximo los codos y pérdidas de carga en general.

El diseño y los materiales deberán ser tales que no exista posibilidad de formación de obturaciones o depósitos de cal en sus circuitos que influyan drásticamente en el rendimiento del sistema.

### **BOMBAS**

Si el circuito de captadores está dotado con una bomba de circulación, la caída de presión se debería mantener aceptablemente baja en todo el circuito.

Siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

En instalaciones con superficies de captación superiores a 50 m<sup>2</sup> se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. En este caso se establecerá el funcionamiento alternativo de las mismas, de forma manual o automática.

Las tuberías conectadas a las bombas se soportarán en las inmediaciones de éstas, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

En instalaciones de piscinas la disposición de los elementos será la siguiente: el filtro ha de colocarse siempre entre la bomba y los captadores y el sentido de la corriente ha de ser bomba- filtro-captadores, para evitar que la resistencia del filtro provoque una sobrepresión perjudicial para los captadores, prestando especial atención a su mantenimiento. La impulsión de agua caliente deberá hacerse por la parte inferior de la piscina, quedando la impulsión de agua filtrada en superficie.



## **VASOS DE EXPANSIÓN**

Los vasos de expansión preferentemente se conectarán en la aspiración de la bomba.

Cuando no se cumpla lo anterior, la altura en la que se situarán los vasos de expansión abiertos será de tal manera que se elimine el riesgo de desbordamiento del fluido y la introducción de aire en el circuito primario.

## **PURGA DE AIRE**

En aquellos puntos de la instalación, donde pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático.

El trazado del circuito evitará los caminos tortuosos, para favorecer el desplazamiento del aire atrapado hacia los puntos altos.

Los trazados horizontales de tubería, tendrán siempre una pendiente mínima del 1 % en el sentido de circulación.

Se evitará el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito.

## **DRENAJE**

Los conductos de drenaje de las baterías de captadores serán diseñados para que no puedan congelarse.

## **10. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR**

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía auxiliar.

Por razones de eficiencia energética, entre otras, no es aconsejable, la utilización de energía eléctrica obtenida por efecto Joule como fuente auxiliar, especialmente en los casos de altos consumos y fracciones solares anuales bajas.

Queda prohibido el uso de sistemas de energía auxiliar en el circuito primario de captadores.

El diseño del sistema de energía auxiliar se realizará en función de la aplicación determinada de la instalación, de manera que sólo entre en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y para aprovechar al máximo, la energía extraída del campo de captación solar.

Para ello se seguirán los siguientes criterios:

- Para pequeñas cargas de consumo se recomienda usar un sistema de energía auxiliar en línea, siendo para estos casos los sistemas de gas variable en temperatura los más idóneos.
- No se recomienda la conexión de un retorno desde el acumulador de energía auxiliar al acumulador solar, excepto en aquellos períodos de consumo estacional bajo, en los cuales este previsto alcanzar elevadas temperaturas en el acumulador solar. La instalación térmica, deberá efectuarse para evitar introducir energía procedente de la fuente auxiliar en el acumulador solar.
- Para la preparación de agua caliente sanitaria, se permitirá la conexión del sistema de energía auxiliar en paralelo con la instalación solar cuando se cumplan los siguientes requisitos:
  - Exista previamente un sistema de energía auxiliar constituido por uno o varios calentadores instantáneos no modulantes, sin la posibilidad de regular la temperatura de salida del agua.
  - Exista una preinstalación solar que impida o dificulte el conexionado en serie.

Para A.C.S., el sistema de aporte de energía auxiliar con acumulación o en línea, se dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación.

## **11. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL**

El diseño del sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar.

El sistema de regulación y control comprende los siguientes sistemas:

- Control de funcionamiento del circuito primario y secundario (si existe).
- Sistemas de protección y seguridad de las instalaciones contra sobrecalentamientos, heladas, etc.

El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes.

Con independencia de que realice otras funciones, el sistema de control se realizará por control diferencial de temperaturas, mediante un dispositivo electrónico (módulo de control diferencial, en los esquemas representado por MCD) que compare la temperatura de captadores con la temperatura de acumulación o retorno.

La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor de 2 °C, haciendo que el funcionamiento de la parte solar de una instalación se optimice.

Para optimizar el aprovechamiento solar de la instalación y, cuando exista intercambiador exterior, se podrán instalar también dos controles diferenciales.

El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superiores a la de congelación del fluido.

Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores, de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación.

Si se decidiese colocar un sensor de temperatura de la acumulación se colocará en la parte inferior, en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si se incorporase.

## **12. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN**

Para el caso de instalaciones mayores de 20 m<sup>2</sup>, se instalará un sistema analógico de medida local que indique como mínimo las siguientes variables:

- Opción 1:
  - Temperatura de entrada de agua fría de red.
  - Temperatura de salida del acumulador solar.
  - Caudal de agua fría de red.
- Opción 2:
  - Temperatura inferior del acumulador solar.
  - Temperatura de captadores.
  - Caudal por el circuito primario

El tratamiento de los datos proporcionará la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo.

### **13. COMPONENTES**

Los materiales de la instalación deben soportar las máximas temperaturas y presiones que puedan alcanzarse.

Si no existe otra alternativa y es necesario utilizar en el mismo circuito, materiales de diferentes características, especialmente cobre y acero, en ningún caso estarán en contacto, debiendo situarse entre ambos juntas o manguitos dieléctricos, para evitar la corrosión de los citados materiales que pudiese generarse.

En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero.

Los materiales situados en intemperie se protegerán contra los agentes ambientales, especialmente contra la radiación solar y la humedad.

Se tendrá especial precaución, en la protección de equipos y materiales que estén expuestos a agentes exteriores que pudieran ser agresivos.

#### **CAPTADORES SOLARES**

Si se utilizan captadores convencionales de absorbedor metálico, ha de tenerse en cuenta que el cobre solamente es admisible si el pH del fluido en contacto con él está comprendido entre 7,2 y 7,6.

Los absorbedores de hierro no son aptos en absoluto.

El captador llevará, preferentemente, un orificio de ventilación, de diámetro no inferior a 4 mm, situado en la parte inferior de forma que puedan eliminarse acumulaciones de agua en el captador. El orificio se realizará de manera que el agua pueda drenarse en su totalidad sin afectar al aislamiento del colector.

Cuando se utilicen captadores con absorbedores de aluminio, será obligatorio la utilización de fluidos de trabajo con un tratamiento inhibidor de los iones de cobre y hierro.

#### **ACUMULADORES**

Cuando el acumulador lleve incorporada una superficie de intercambio térmico, entre el fluido primario y el agua sanitaria, en forma de serpentín o camisa de doble envolvente, se denominará interacumulador.

Cuando el intercambiador esté incorporado al acumulador, la placa de identificación indicará además, los siguientes datos:

- Superficie de intercambio térmico en m<sup>2</sup>.
- Presión máxima de trabajo del circuito primario.

Cada acumulador vendrá equipado de fábrica con los manguitos de acoplamiento, soldados antes del tratamiento de protección,

Sus funciones serán:

- Manguitos roscados para la entrada de agua fría y la salida de agua caliente.
- Registro embridado para inspección del interior del acumulador y eventual acoplamiento del serpentín.
- Manguitos roscados para la entrada y salida del fluido primario.
- Manguitos roscados para accesorios como termómetro y termostato.
- Manguito para el vaciado.

Los acumuladores vendrán equipados de fábrica con las bocas necesarias soldadas, antes de efectuar el tratamiento de protección interior.

El acumulador estará enteramente recubierto con material aislante, y recomendando disponer de una protección mecánica en chapa pintada al horno, PRFV, o lámina de material plástico.

Todos los acumuladores irán equipados con la protección catódica o anticorrosiva establecida por el fabricante para garantizar su durabilidad.

La utilización de acumuladores de hormigón requerirá la presentación de un proyecto firmado por un técnico competente.

Se podrá utilizar acumuladores de las características y tratamiento descritos a continuación:

- Acumuladores de acero vitrificado.
- Acumuladores de acero con tratamiento epoxídico.
- Acumuladores de acero inoxidable, adecuados al tipo de agua y temperatura de trabajo.
- Acumuladores de cobre.
- Acumuladores no metálicos que soporten la temperatura máxima del circuito.
- Acumuladores de acero negro (sólo en circuitos cerrados, sin agua de consumo)

## INTERCAMBIADORES DE CALOR

Se indicará el fabricante y modelo del intercambiador de calor, así como datos de sus características de actuación, medidos por el propio fabricante o por un laboratorio acreditado.

El intercambiador seleccionado resistirá la presión máxima de trabajo de la instalación.

En ningún caso se utilizarán interacumuladores con envolvente que dificulten la convección natural en el interior del acumulador.

Los materiales del intercambiador de calor resistirán la temperatura máxima de trabajo del circuito primario y serán compatibles con el fluido de trabajo.

Los intercambiadores de calor utilizados en circuitos de agua sanitaria serán de acero inoxidable o cobre.

El diseño del intercambiador de calor permitirá su limpieza utilizando productos líquidos.

El fabricante del intercambiador de calor garantizará un factor de ensuciamiento menor al permitido en los Criterios de Dimensionado y Cálculo de Instalaciones de Energía Solar Térmica.

Los tubos de los intercambiadores de calor tipo serpentín sumergido en el depósito tendrán diámetros interiores inferiores o iguales a una pulgada.

Cualquier intercambiador de calor existente entre el circuito de captadores y el sistema de suministro al consumo, no debería reducir la eficiencia del captador debido a un incremento en la temperatura de funcionamiento de captadores en más de lo que los siguientes criterios especifican:

- Cuando la ganancia solar del captador haya llegado al valor máximo posible, la reducción de la eficiencia del captador debido al intercambiador de calor no debería exceder el 10 % (en valor absoluto).
- Si se instala más de un intercambiador de calor, este valor no se excederá en la suma de las reducciones debidas a cada intercambiador. El criterio se aplica también si existe en el sistema un intercambiador de calor en la parte de consumo.
- Si en una instalación a medida sólo se usa un intercambiador entre el circuito de captadores y el acumulador, la transferencia de calor del intercambiador de calor por unidad de área de captador no debería ser menor de  $40 \text{ W/ (K A m}^2\text{)}$ .

## **BOMBAS DE CIRCULACIÓN**

Las bombas podrán ser del tipo en línea, de rotor seco o húmedo, o de bancada. Siempre que sea posible se utilizarán bombas tipo circuladores en línea.

En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.

Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

Las bombas serán resistentes a las averías producidas por acumulación de incrustaciones de cal.

Las bombas serán resistentes a la presión máxima del circuito.

La bomba se seleccionará de forma que el caudal y la pérdida de carga de diseño se encuentren dentro de la zona de rendimiento óptimo especificado por el fabricante.

La presión de la bomba deberá compensar todas las pérdidas de carga del circuito correspondiente.

La potencia máxima de la bomba, excluirá la potencia de las bombas de los sistemas de drenaje con recuperación, que sólo es necesaria para rellenar el sistema después de un drenaje.

La bomba permitirá efectuar de forma simple la operación de desaireación o purga.

## **TUBERÍAS**

En las tuberías del circuito primario, se usará como materiales constructivos el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embriadas.

En el circuito secundario o de servicio de agua caliente sanitaria, se utilizará cobre y acero inoxidable. También, si se desea podrán utilizarse materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito.

Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y uniones por capilaridad.

No se utilizarán tuberías de acero negro para circuitos de agua sanitaria.

Cuando se utilice aluminio en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 1,5 m/s y su pH estará comprendido entre 5 y 7. No se permitirá el uso de aluminio en sistemas abiertos o sistemas sin protección catódica.

Cuando se utilice acero en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 3 m/s en sistemas cerrados y el pH del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9.



El diámetro de las tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discurra por locales habitados, y a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.

El dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal.

Las pérdidas térmicas globales del conjunto de conducciones no superarán el 4 % de la potencia máxima que transporten.

Todas las redes de tuberías deben diseñarse de tal manera que puedan vaciarse de forma parcial y total, a través de un elemento que tenga un diámetro nominal mínimo de 20 mm.

## **VÁLVULAS**

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), para ello se seleccionaran en función de los siguientes criterios:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta o especiales para sistemas por termosifón.

El acabado de las superficies de asiento y obturador debe asegurar la estanqueidad al cierre de las válvulas, para las condiciones de servicio especificadas.

El volante y la palanca deben tener el tamaño suficiente para asegurar el cierre y la apertura de forma manual con la aplicación de fuerza, sin necesitar medios auxiliares.

Las superficies del asiento y del obturador serán recambiables. La empaquetadura debe ser recambiable en servicio, con válvula abierta a tope, sin necesidad de desmontarla.

Las válvulas roscadas y las de mariposa se diseñarán de tal forma que, cuando estén correctamente acopladas a las tuberías, no tengan lugar interferencias entre la tubería y el obturador.

En el cuerpo de la válvula irán troquelados: la presión nominal (PN), expresada en bar o  $\text{kp/cm}^2$ ; y el diámetro nominal (DN), expresado en mm o pulgadas, al menos cuando el diámetro sea igual o superior a 25 mm.

La presión nominal mínima de todo tipo de válvulas y accesorios deberá ser igual o superior a  $4 \text{ kp/cm}^2$ .

Los diámetros libres en los asientos de las válvulas se corresponderán con los diámetros nominales de las mismas. En ningún caso, serán inferiores a 12 mm.

Las válvulas de seguridad serán capaces de derivar la potencia máxima del grupo de captadores, de manera que, en ningún caso se sobrepase la máxima presión de trabajo del captador o del sistema.

Las válvulas de retención estarán situadas en la tubería de impulsión de la bomba, entre la boca y el manguito anti vibratorio, y de manera general, aguas arriba de la válvula de interceptación.

Los purgadores automáticos de aire se construirán con los siguientes materiales:

- Cuerpo y tapa de fundición, de hierro o latón.
- Mecanismo, de acero inoxidable.
- Flotador y asiento, de acero inoxidable.
- Obturador, de goma sintética.

Los purgadores automáticos resistirán la temperatura máxima de trabajo del circuito.

## **VASOS DE EXPANSIÓN ABIERTOS**

Los vasos de expansión abiertos cumplirán los siguientes requisitos:

Los vasos de expansión abiertos se construirán soldados o remachados, en todas sus juntas, y reforzados para evitar deformaciones, cuando su volumen lo exija.

El material y tratamiento del vaso de expansión será capaz de resistir la temperatura máxima de trabajo.

El volumen útil del vaso de expansión abierto se determinará de forma que sea capaz de absorber la expansión completa del fluido de trabajo entre las temperaturas extremas de funcionamiento.

El nivel mínimo libre de agua de los vasos de expansión abiertos se situará a una altura mínima de 2,5 metros sobre el punto más alto de la instalación.

Los vasos de expansión abiertos tendrán una salida de rebosamiento.

La salida de rebosamiento se situará de forma que el incremento del volumen de agua antes del rebose sea igual o mayor que un tercio del volumen del depósito.

Permitirá que, con agua fría, el nivel sea tal que al incrementar la temperatura de agua en el sistema a la temperatura máxima de trabajo, no se produzca derrame de la misma.

En ningún caso la diferencia de alturas entre el nivel de agua fría en el depósito y el rebosadero será inferior a 3 cm.

### **VASOS DE EXPANSIÓN CERRADOS**

La tubería de conexión del vaso de expansión no se aislará térmicamente y tendrá volumen suficiente para enfriar el fluido antes de alcanzar el vaso.

Los datos que sirven de base para la selección del vaso son los siguientes:

- Volumen total de agua en la instalación, en litros.
- Temperatura mínima de funcionamiento, para la cual se asumirá el valor de 4 °C, a la que corresponde la máxima densidad.
- Temperatura máxima que pueda alcanzar el agua durante el funcionamiento de la instalación.
- Presiones mínima y máxima de servicio, en bar, cuando se trate de vasos cerrados.
- Volumen de expansión calculado, en litros.

Los cálculos darán como resultado final el volumen total del vaso y la presión nominal (PN), que son los datos que definen sus características de funcionamiento.

La temperatura extrema del circuito primario será, como mínimo, la temperatura de estancamiento del captador.

El volumen de dilatación será, como mínimo, igual al 4,3 % del volumen total de fluido en el circuito primario.

El dispositivo de expansión cerrado del circuito de captadores, deberá estar dimensionado de forma que, incluso después de una interrupción del suministro de

potencia a la bomba de circulación del circuito de captadores, justo cuando la radiación solar sea máxima, se pueda restablecer la operación automáticamente cuando la potencia esté disponible de nuevo.

## **AISLAMIENTOS**

El espesor mínimo del aislamiento de acumuladores será el que corresponda a las tuberías de más de 140 mm de diámetro.

El espesor del aislamiento del cambiador de calor no será inferior a 30 mm.

El material aislante se sujetará con medios adecuados, de forma que no pueda desprenderse de las tuberías o accesorios.

Cuando el material aislante de tubería y accesorios sea de fibra de vidrio, deberá cubrirse con una protección no inferior a la proporcionada por un recubrimiento de venda y escayola. En los tramos que discurren por el exterior, se terminará con pintura asfáltica u otra protección de características equivalentes.

El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.

Para la protección del material aislante situado en intemperie, se utilizará una cubierta o revestimiento de escayola protegido con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio o chapa de aluminio. En el caso de depósitos o cambiadores de calor situados en intemperie, podrán utilizarse forros de telas plásticas.

## **PURGA DE AIRE**

Como se ha comentado anteriormente, el trazado evitará los caminos difíciles y enrevesados, favoreciendo el desplazamiento del aire atrapado hacia los puntos más altos.

Los tramos dispuestos horizontalmente tendrán una pendiente como mínimo del 1 % en el sentido de circulación.

Si el sistema está equipado con líneas de purga, serán colocadas de manera que no se puedan helar y no se pueda acumular agua en las líneas.

Los orificios de descarga, estarán dispuestos de forma que el vapor o el medio de transferencia de calor, que salga por las válvulas de seguridad no causen ningún riesgo a las personas, materiales o medio ambiente.

Se evitará el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito.

## **SISTEMA DE LLENADO**

Los sistemas con vaso de expansión abierto podrán utilizarlo como sistema de llenado.

Los circuitos con vaso de expansión cerrado deben incorporar un sistema de llenado manual o automático, que les permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado.

Se recomienda la adopción de un sistema de llenado automático con la inclusión de un depósito de recarga u otro dispositivo, nunca se utilice un fluido para el circuito primario cuyas características incumplan este Pliego de Condiciones Técnicas.

Nunca deberá rellenarse el circuito primario con agua de red, si sus características pueden dar lugar a incrustaciones, deposiciones o ataques en el circuito, o si este circuito necesita anticongelante por riesgo de heladas o cualquier otro aditivo para su correcto funcionamiento.

Las instalaciones que requieran anticongelante deben incluir un sistema que permita el relleno manual del mismo.

Para disminuir los riesgos de fallos se evitarán los aportes incontrolados de agua de reposición a los circuitos cerrados y la entrada de aire que pueda aumentar los riesgos de corrosión originados por el oxígeno del aire, Por este motivo se desaconseja, usar válvulas de llenado automáticas.

## **SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL**

El sistema eléctrico y de control cumplirá con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) en los puntos que sean de aplicación de dicho reglamento.

Los cuadros serán diseñados siguiendo los requisitos de estas especificaciones y se construirán de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y con las recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

El usuario estará protegido contra posibles contactos directos e indirectos.

El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de la alimentación del sistema del funcionamiento de bombas.

El rango de temperatura ambiente de funcionamiento del sistema de control estará, como mínimo, entre  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El tiempo mínimo entre fallos especificados por el fabricante del sistema de control diferencial no será inferior a 7000 horas.

Los sensores de temperaturas soportarán las máximas temperaturas previstas locales. Deberán soportar sin alteraciones de más de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , las siguientes temperaturas en función de la aplicación:

- A.C.S. y calefacción por suelo radiante y “fan-coil”: 100 °C.
- Refrigeración/calefacción: 140 °C.
- Usos industriales: en función de la temperatura de uso.

La localización e instalación de los sensores de temperatura deberá asegurar un buen contacto térmico con la parte encargada de la medición de la misma. Para ello, en el caso de las de inmersión, se instalarán en contracorriente del fluido.

Los sensores de temperatura deberán estar aislados contra la influencia de las condiciones ambientales que le rodean.

La ubicación de las sondas se realizará teniendo en cuenta, que éstas midan exactamente las temperaturas que se desean controlar, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los captadores y las zonas de estancamiento en los depósitos. No se permite el uso permanente de termómetros o sondas de contacto.

Preferentemente, las sondas serán de inmersión. Se tendrá especial cuidado en asegurar una adecuada unión entre las sondas de contactos y la superficie metálica.

#### Sistema de monitorización

El sistema de monitorización realizará la adquisición de datos de esta manera:

- Toma de medidas o estados de funcionamiento: cada minuto.
- Cálculo de medias de valores y registro: cada 10 minutos.
- Tiempo de almacenamiento de datos registrados: mínimo 1 año

Las variables analógicas que deben ser medidas por el sistema de monitorización serán seis como mínimo, y entre las cuales deberán estar las cuatro siguientes:

- Temperatura de entrada de agua fría.
- Temperatura de suministro de agua caliente solar.
- Temperatura de suministro de agua caliente a consumo.
- Caudal de agua de consumo.

El sistema de monitorización registrará, el estado de funcionamiento de las bombas de circulación de primario y secundario, la actuación de las limitaciones por máxima o mínima y el funcionamiento del sistema de energía auxiliar.

Opcionalmente, el sistema de monitorización medirá, además, las siguientes variables:

- Temperatura de entrada a captadores.
- Temperatura de salida de captadores.
- Temperatura de entrada al secundario.
- Temperatura de salida al secundario.
- Radiación global sobre plano de captadores.
- Temperatura ambiente exterior.
- Presión de agua en circuito primario.
- Temperatura fría del acumulador.
- Temperatura caliente del acumulador.
- Temperaturas de salidas de varios grupos de captadores.
- Variables que permitan el conocimiento del consumo energético del sistema auxiliar.

El tratamiento de los datos medidos proporcionará, al menos, los siguientes resultados:

- Temperatura media de suministro de agua caliente a consumo.
- Temperatura media de suministro de agua caliente solar.
- Demanda de energía térmica diaria.
- Energía solar térmica aportada.
- Energía auxiliar consumida.
- Fracción solar media.
- Consumos propios de la instalación (bombas, controles, etc.).

Con los datos registrados se procederá al análisis de resultados y evaluación de las prestaciones diarias de la instalación. Estos datos quedarán archivados en un registro histórico de prestaciones.



**INSTALACIÓN DE SUELO  
RADIANTE Y ENERGÍA  
SOLAR TÉRMICA EN UNA  
VIVIENDA UNIFAMILIAR.**

**DOCUMENTO N º4: ANEXOS**

**ANEXO A:**

**CATALOGO MARCA**

**FERROLI DE LOS**

**ELEMENTOS DE LA**

**INSTALACIÓN SOLAR**

## Calderas murales de condensación. Clase 5 en emisiones NOx



## ECONCEPT TECH MICRO. Mixta. Microacumulación

CÓDIGO	PRODUCTO	CÁMARA COMBUSTIÓN	A.C.S. (l/min. $\Delta T^{\circ} 25^{\circ} C$ )	POTENCIA (kW)	EFICIENCIA ENERGÉTICA	PRECIO €
07000204	ECONCEPT Tech Micro 25 C N + Kit salida de gases exterior Ø 80/100 condensación	Externa	15,2	20,8	****	1.825
07010204	ECONCEPT Tech Micro 25 C N + Kit salida de gases repartido Ø 80/100 condensación					1.975
07000204	ECONCEPT Tech Micro 25 C N					1.885
07000203	ECONCEPT Tech Micro 25 C P + Kit salida de gases exterior Ø 80/100 condensación	Externa	15,2	20,8	****	1.825
07010203	ECONCEPT Tech Micro 25 C P + Kit salida de gases repartido Ø 80/100 condensación					1.975
07000203	ECONCEPT Tech Micro 25 C P					1.885
07000204	ECONCEPT Tech Micro 25 C N + Kit salida de gases exterior Ø 80/100 condensación	Externa	16,8	26,7	****	2.335
07010204	ECONCEPT Tech Micro 25 C N + Kit salida de gases repartido Ø 80/100 condensación					2.255
07000204	ECONCEPT Tech Micro 25 C N					2.145
07000203	ECONCEPT Tech Micro 25 C P + Kit salida de gases exterior Ø 80/100 condensación	Externa	16,8	26,7	****	2.335
07010203	ECONCEPT Tech Micro 25 C P + Kit salida de gases repartido Ø 80/100 condensación					2.255
07000203	ECONCEPT Tech Micro 25 C P					2.145



## ECONCEPT TECH. Solo Calefacción

CÓDIGO	PRODUCTO	CÁMARA COMBUSTIÓN	A.C.S. (l/min. $\Delta T^{\circ} 25^{\circ} C$ )	POTENCIA (kW)	EFICIENCIA ENERGÉTICA	PRECIO €
07000204	ECONCEPT Tech 25 A N + Kit salida de gases exterior Ø 80/100 condensación	Externa	-	20,8	****	1.885
07010204	ECONCEPT Tech 25 A N + Kit salida de gases repartido Ø 80/100 condensación					1.955
07000204	ECONCEPT Tech 25 A N					1.745
07000203	ECONCEPT Tech 25 A P + Kit salida de gases exterior Ø 80/100 condensación	Externa	-	20,8	****	1.885
07010203	ECONCEPT Tech 25 A P + Kit salida de gases repartido Ø 80/100 condensación					1.955
07000203	ECONCEPT Tech 25 A P					1.745
07000204	ECONCEPT Tech 25 A N + Kit salida de gases exterior Ø 80/100 condensación	Externa	-	26,7	****	1.885
07010204	ECONCEPT Tech 25 A N + Kit salida de gases repartido Ø 80/100 condensación					2.035
07000204	ECONCEPT Tech 25 A N					1.825
07000203	ECONCEPT Tech 25 A P + Kit salida de gases exterior Ø 80/100 condensación	Externa	-	26,7	****	1.885
07010203	ECONCEPT Tech 25 A P + Kit salida de gases repartido Ø 80/100 condensación					2.035
07000203	ECONCEPT Tech 25 A P					1.825



## ECONCEPT SOLAR 25. Con interacumulador solar

CÓDIGO	PRODUCTO	CÁMARA COMBUSTIÓN	A.C.S. (l/min. $\Delta T^{\circ} 25^{\circ} C$ )	POTENCIA (kW)	EFICIENCIA ENERGÉTICA	PRECIO €
08000204	ECONCEPT SOLAR 25 N + Kit salida de gases exterior Ø 80/100 condensación	Externa	15,2	20,8	****	2.755
08010204	ECONCEPT SOLAR 25 N + Kit salida de gases repartido Ø 80/100 condensación					2.905
08000204	ECONCEPT SOLAR 25 N					2.685

N = Natural P = Propano

## Captador solar plano de alto rendimiento



### ECOTOP VF-HF. Captador solar altamente selectivo



MODELO VF2A

CÓDIGO	PRODUCTO	INSTALACIÓN	SUPERFICIE TOTAL (m <sup>2</sup> )	ÁREA DE APERTURA (m <sup>2</sup> )	PRECIO €
007108100	ECOTOP VF 2.0	vertical	1,97	1,86	800
007108200	ECOTOP VF 2.3		2,23	2,23	940
007108400	ECOTOP VF 2.8		2,708	2,66	930
007080100	ECOTOP HF 2.3	horizontal	2,23	2,23	880

Óptimos coeficientes de la curva de rendimiento – Variedad en tamaño.  
Hasta 8 captadores por tubería (modelo vertical).

## Accesorios para captador Ecotop VF/HF

IMAGEN	CÓDIGO	PRODUCTO	PRECIO €
	031010000	Kit de 4 conexiones para modelos Ecotop VF/HF, incluye: 2 tapones de cobre, Conector entrada panel, conector salida panel con vaina y purgador manual*	42
	031010010	Kit de tubos para conexiones intermedias para modelos Ecotop VF/HF**.	20
	031010020	Kit Tube y purgador de aire para modelos Ecotop VF/HF (accesorio opcional).	75

\* Selector N-1 solo cada N líneas de captadores.

\*\* Selector N-1 solo cada N líneas de N captadores.

## Captador solar alta eficiencia



### ECOTUBE-14. Captador solar de tubo de vacío

CÓDIGO	PRODUCTO	INSTALACIÓN	SUPERFICIE TOTAL (m <sup>2</sup> )	ÁREA DE APERTURA (m <sup>2</sup> )	PRECIO €
000100100	ECOTUBE-14	vertical	3,57	2,04	1.700

Alto rendimiento con baja temperatura – Bases selladas, no requiere de vacío.

## Captador para grandes instalaciones



### ecoEXTENS. Captador gran formato

CÓDIGO	PRODUCTO	INSTALACIÓN	SUPERFICIE TOTAL (m <sup>2</sup> )	ÁREA DE APERTURA (m <sup>2</sup> )	PRECIO €
002040200	ecoEXTENS 5	vertical	5,04	4,70	1.900
002040300	ecoEXTENS 10		10,08	9,40	3.800

Superficie de alta captación – Hasta 30 m<sup>2</sup> en paralelo.  
Gran ahorro en la instalación.

Los captadores ecoEXTENS se suministran en palets de 6 uds. Para embalajes especiales, consultar la siguiente tabla:

CÓDIGO	PRODUCTO	PRECIO €
031010010	Embalaje especial 2-6 ecoEXTENS	220
031010020	Embalaje especial 3 ecoEXTENS 5	530
031010030	Embalaje especial 3 ecoEXTENS 10	875

\*Precio (precio Picking + Transporte NO INCLUIDO).  
Precio de venta de referencia sin IVA.

**Ferrolí**

Accesorios para captador ecoEXTENS

código	PRODUCTO	PRECIO €
ES1010900	Kit de conexión tapones y juntas (*)	31
ES1010990	Kit compensadores de dilatación (***)	155
ES1010990	Valina de inmersión (**)	270

\*) 1 kit por cada fila de captadores.

\*\*) 1 valina para cada instalación.

\*\*\* N-1 kits para cada fila de N captadores.

Estructuras de sujeción de Captadores

Estructuras de sujeción de Captadores ECOTOP VF

Para cubierta plana

código	PRODUCTO	PRECIO €
ES1010440	Estructura para 1 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	220
ES1010450	Estructura para 2 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	295
ES1010460	Estructura para 3 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	445
ES1010470	Estructura para 4 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	590
ES1010480	Estructura para 5 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	725
ES1010490	Estructura para 6 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	885
ES1010500	Estructura para 7 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	1.025
ES1010510	Estructura para 8 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	1.185

Cumple con el CTE.3.2.2.3 – Gran variedad de ángulo de inclinación.

Facilidad de montaje.

Para cubierta inclinada, con tejas

código	PRODUCTO	PRECIO €
ES1010520	Estructura para 1 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	130
ES1010530	Estructura para 2 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	225
ES1010540	Estructura para 3 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	325
ES1010550	Estructura para 4 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	440
ES1010560	Estructura para 5 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	540
ES1010570	Estructura para 6 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	640
ES1010580	Estructura para 7 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	740
ES1010590	Estructura para 8 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	845

Cumple con el CTE.3.2.2.3 – Facilidad de montaje.

Para cubierta inclinada, con ganchos

código	PRODUCTO	PRECIO €
ES1010600	Estructura para 1 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	125
ES1010610	Estructura para 2 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	225
ES1010620	Estructura para 3 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	330
ES1010630	Estructura para 4 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	435
ES1010640	Estructura para 5 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	530
ES1010650	Estructura para 6 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	635
ES1010660	Estructura para 7 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	735
ES1010670	Estructura para 8 Ecotop/VF 2.0-2.3-2.8	840

Cumple con el CTE.3.2.2.3 – Facilidad de montaje.



## Equipo alto rendimiento para producción de A.C.S.



### DRAIN BACK VITROSYSTEM 160-200-300



DISPONIBLE  
EN MAYO

CÓDIGO	PRODUCTO	RECOMENDACIÓN USO*		COMPOSICIÓN**			PRECIO €
		Nº DORMITANTES	ALTURA	DEPOSITO***	CAPTADORES	ESTRUCTURA	
C1902100	DRAIN BACK VITROSYSTEM 160 A	Hasta 3 dormitorios	Hasta 8 metros entre parte superior de panel y parte inferior de depósito	Vitrosystem drain back 160 litros	1 ECOTOP VP 23	Plano	2.700
C1902100	DRAIN BACK VITROSYSTEM 160 B					Inclinado con terminales	3.000
C1902100	DRAIN BACK VITROSYSTEM 160 C					Inclinado con ganchos	3.000
C1902100	DRAIN BACK VITROSYSTEM 200 A	Hasta 4 dormitorios		Vitrosystem drain back 200 litros	1 ECOTOP VP 23	Plano	2.800
C1902100	DRAIN BACK VITROSYSTEM 200 B					Inclinado con terminales	2.870
C1902100	DRAIN BACK VITROSYSTEM 200 C					Inclinado con ganchos	2.800
C1902100	DRAIN BACK VITROSYSTEM 300 A	Hasta 7 dormitorios		Vitrosystem drain back 300 litros	1 ECOTOP VP 30	Plano	3.000
C1902100	DRAIN BACK VITROSYSTEM 300 B					Inclinado con terminales	3.070
C1902100	DRAIN BACK VITROSYSTEM 300 C					Inclinado con ganchos	2.870

\* Recomendación a confirmar en función de zona climática y equipo de apoyo a utilizar, para cumplir en cualquier caso el CTE.

\*\* Todos los equipos Drain Back Vitrosystem incluyen los necesarios kit 3 conexiones y kit 2 conexiones para instalación de paneles.

\*\*\* Conjunto de intercambiador utilizado sistema Drain Back con acodo de sujeción, controla sol, grupo de microválvula y toma para resistencia eléctrica.



### ECOSYSTEM 150/300. En acero inox

CÓDIGO	PRODUCTO	CAPACIDAD (L)	MEDIDAS (mm) (alto x ancho máximo)	PRECIO €
12000100	ECOSYSTEM 150	150	1.200 x 600	2.740
12000300	ECOSYSTEM 300	300	1.600 x 600	3.340

Controla, vaso de expansión, bomba y latiguillo para llenado manual incluido.



### VITROSYSTEM PLUS. En acero vitrificado

CÓDIGO	PRODUCTO	CAPACIDAD (L)	MEDIDAS (mm) (alto x ancho máximo)	PRECIO €
14000100	VITROSYSTEM PLUS 150	150	1.100 x 600	2.110
14000300	VITROSYSTEM PLUS 300	300	1.440 x 600	2.300
14000500	VITROSYSTEM PLUS 360	360	1.940 x 600	2.400

Controla - Bomba - Latiguillo para llenado manual incluido

## Soluciones en viviendas unifamiliares



### Conjunto solar ECOSYSTEM

CÓDIGO	MODELO	RECOMENDACIÓN USO*	COMPOSICIÓN**			PRECIO €
			EQUIPO COMPACTO	Nº Y TIPO DE CAPTADOR	ESTRUCTURA	
C1100000	Conjunto solar ECOSYSTEM 150 A	Hasta 3 dormitorios	ECOSYSTEM 150	1 ECOSYSTEM 22 VP	En Plano	3.500
C1100000	Conjunto solar ECOSYSTEM 150 B				En Inclinada con terminales	3.440
C1100000	Conjunto solar ECOSYSTEM 150 C				En Inclinada con ganchos	3.440
C1100000	Conjunto solar ECOSYSTEM 300 A	Hasta 7 dormitorios	ECOSYSTEM 300	2 ECOSYSTEM 22 VP	En Plano	4.740
C1100000	Conjunto solar ECOSYSTEM 300 B				En Inclinada con terminales	4.670
C1100000	Conjunto solar ECOSYSTEM 300 C				En Inclinada con ganchos	4.670

\* Recomendación a confirmar en función de zona climática y equipo de apoyo a utilizar, para cumplir en cualquier caso el CTE.

\*\* Los packs incluyen tuberías de conexión entre paneles, tuberías, portal y purgador manual del 3 conexiones C1010000 y kit 2 conexiones laterales C1010000.



### Accesorios equipos compactos ECOTECH F

CÓDIGO	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRECIO €
CS1021800	Kit seguridad viento ECOTECH F(*)	Tramo seguridad para protección de vientos superiores a 100 Km/h	32
CS1021810	Válvula Seg. Pres/Tem ECOTECH F	Válvula doble seguridad de presión y temperatura	41

\* Necesario para vientos superiores a 100 km/h.

## Componentes instalación energía solar térmica



### VÁLVULA MEZCLADORA. Termostática

CÓDIGO	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRECIO €
CS0015140	Kit válvula mezcladora	Incorpora filtro y dos válvulas de retención en las entradas	93



### GRUPO SOLAR HIDRO. Grupo hidráulico de circulación

CÓDIGO	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRECIO €
CS100000	GRUPO HIDRÁULICO HIDRO 4	Grupo hidráulico de circulación hasta 4 colectores	540
CS1000010	GRUPO HIDRÁULICO HIDRO 10	Grupo hidráulico de circulación hasta 10 colectores	585
CS1000020	GRUPO HIDRÁULICO HIDRO 20	Grupo hidráulico de circulación hasta 20 colectores	625

Regulación de caudal en función del número de colectores.  
Controla no incluido en precio y suministro.



### LÍQUIDO SOLAR. Fluido para circuito primario

CÓDIGO	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRECIO €
CS101680	Líquido Solar bidón 5 litros	Fluido caloportador (garrafa de 5 l)	47
CS101680	Líquido Solar bidón 25 litros	Fluido caloportador (garrafa de 25 l)	245

Fluido caloportador - Protección hasta 20°C bajo 0.



### AEROTERMO. Disipador de energía

CÓDIGO	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRECIO €
404000400	Aerotermo Ferroli AE-P5	De 5 kW para instalaciones de hasta 5 captadores	830
404001200	Aerotermo Ferroli AE-P10	De 10 kW para instalaciones de hasta 10 captadores	740
404001600	Aerotermo Ferroli AE-P20	De 20 kW para instalaciones de hasta 20 captadores	885

Instale válvula de 3 vías - Pata resguarda para rápido y cómodo instalación aerotermostato.



### DELTA UNIT cool. Centralita solar de regulación

CÓDIGO	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRECIO €
CS1016801	Delta Unit cool	Regulador diferencial para instalaciones de Energía Solar Térmica ( 3 sondas PT 1000)	320

Regulador diferencial para sistemas de ACS.



### DELTA UNIT PLUS. Centralita solar de regulación

CÓDIGO	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRECIO €
CS1016810	Delta Unit Plus	Regulador diferencial para instalaciones de Energía Solar Térmica ( 6 sondas PT 1000)	760

Regulador diferencial para sistemas de ACS + calefacción + piscina.

**ANEXO B:**

**TABLAS DE DATOS DEL C.T.E.**

**SECCION HE 4 Y DEL PCT**

**DEL IDAE.**



Temperatura mínima del agua fría de la red general ° C obtenida a partir de medidas directas.

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1	ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2	ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3	ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4	ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5	ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6	ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7	BADAJOS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8	BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9	BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10	BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11	CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12	CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13	CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14	CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15	CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16	CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17	CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18	LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19	CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20	GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21	GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22	GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23	GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24	HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25	HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26	JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
26	JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27	LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28	LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29	LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30	MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
31	MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
32	MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
33	MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
34	NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
35	ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,2
36	PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
37	LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
38	PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
39	LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
40	SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
41	STA. C. DE TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
42	SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
43	SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
44	SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
45	TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
46	TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
47	TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
48	VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
49	VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
50	VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
51	ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
52	ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3

Energía en megaJulios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes.

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1	ÁLAVA	4,6	6,9	11,2	13	14,8	16,6	18,1	17,3	14,3	9,5	5,5	4,1	11,3
2	ALBACETE	6,7	10,5	15	19,2	21,2	25,1	26,7	23,2	18,8	12,4	8,4	6,4	16,1
3	ALICANTE	8,5	12	16,3	18,9	23,1	24,8	25,8	22,5	18,3	13,6	9,8	7,6	16,8
4	ALMERÍA	8,9	12,2	16,4	19,6	23,1	24,6	25,3	22,5	18,5	13,9	10	8	16,9
5	ASTURIAS	5,3	7,7	10,6	12,2	15	15,2	16,8	14,8	12,4	9,8	5,9	4,6	10,9
6	ÁVILA	6	9,1	13,5	17,7	19,4	22,3	26,3	25,3	18,8	11,2	6,9	5,2	15,1
7	BADAJOS	6,5	10	13,6	18,7	21,8	24,6	25,9	23,8	17,9	12,3	8,2	6,2	15,8
8	BALEARES	7,2	10,7	14,4	16,2	21	22,7	24,2	20,6	16,4	12,1	8,5	6,5	15
9	BARCELONA	6,5	9,5	12,9	16,1	18,6	20,3	21,6	18,1	14,6	10,8	7,2	5,8	13,5
10	BURGOS	5,1	7,9	12,4	16	18,7	21,5	23	20,7	16,7	10,1	6,5	4,5	13,6
11	CÁCERES	6,8	10	14,7	19,6	22,1	25,1	28,1	25,4	19,7	12,7	8,9	6,6	16,6
12	CÁDIZ	8,1	11,5	15,7	18,5	22,2	23,8	25,9	23	18,1	14,2	10	7,4	16,5
13	CANTABRIA	5	7,4	11	13	16,1	17	18,4	15,5	13	9,5	5,8	4,5	11,3
14	CASTELLÓN	8	12,2	15,5	17,4	20,6	21,4	23,9	19,5	16,6	13,1	8,6	7,3	15,3
15	CEUTA	8,9	13,1	18,6	21	24,3	26,7	26,8	24,3	19,1	14,2	11	8,6	18,1
16	CIUDAD REAL	7	10,1	15	18,7	21,4	23,7	25,3	23,2	18,8	12,5	8,7	6,5	15,9
17	CÓRDOBA	7,2	10,1	15,1	18,5	21,8	25,9	28,5	25,1	19,9	12,6	8,6	6,9	16,7
18	LA CORUÑA	5,4	8	11,4	12,4	15,4	16,2	17,4	15,3	13,9	10,9	6,4	5,1	11,5
19	CUENCA	5,9	8,8	12,9	17,4	18,7	22	25,6	22,3	17,5	11,2	7,2	5,5	14,6
20	GERONA	7,1	10,5	14,2	15,9	18,7	19	22,3	18,5	14,9	11,7	7,8	6,6	13,9
21	GRANADA	7,8	10,8	15,2	18,5	21,9	24,8	26,7	23,6	18,8	12,9	9,6	7,1	16,5
22	GUADALAJARA	6,5	9,2	14	17,9	19,4	22,7	25	23,2	17,8	11,7	7,8	5,6	15,1
23	GUIPÚZCOA	5,5	7,7	11,3	11,7	14,6	16,2	16,1	13,6	12,7	10,3	6,2	5	10,9
24	HUELVA	7,6	11,3	16	19,5	24,1	25,6	28,7	25,6	21,2	14,5	9,2	7,5	17,6
25	HUESCA	6,1	9,6	14,3	18,7	20,3	22,1	23,1	20,9	16,9	11,3	7,2	5,1	14,6
26	JAÉN	6,7	10,1	14,4	18	20,3	24,4	26,7	24,1	19,2	11,9	8,1	6,5	15,9
27	LEÓN	5,8	8,7	13,8	17,2	19,5	22,1	24,2	20,9	17,2	10,4	7	4,8	14,3
28	LÉRIDA	6	9,9	18	18,8	20,9	22,6	23,8	21,3	16,8	12,1	7,2	4,8	15,2
29	LUGO	5,1	7,6	11,7	15,2	17,1	19,5	20,2	18,4	15	9,9	6,2	4,5	12,5
30	MADRID	6,7	10,6	13,6	18,8	20,9	23,5	26	23,1	16,9	11,4	7,5	5,9	15,4
31	MÁLAGA	8,3	12	15,5	18,5	23,2	24,5	26,5	23,2	19	13,6	9,3	8	16,8
32	MELILLA	9,4	12,6	17,2	20,3	23	24,8	24,8	22,6	18,3	14,2	10,9	8,7	17,2
33	MURCIA	10,1	14,8	16,6	20,4	24,2	25,6	27,7	23,5	18,6	13,9	9,8	8,1	17,8
34	NAVARRA	5	7,4	12,3	14,5	17,1	18,9	20,5	18,2	16,2	10,2	6	4,5	12,6
35	ORENSE	4,7	7,3	11,3	14	16,2	17,6	18,3	16,6	14,3	9,4	5,6	4,3	11,6
36	PALENCIA	5,3	9	13,2	17,5	19,7	21,8	24,1	21,6	17,1	10,9	6,6	4,6	14,3
37	LAS PALMAS	11,2	14,2	17,8	19,6	21,7	22,5	24,3	21,9	19,8	15,1	12,3	10,7	17,6
38	PONTEVEDRA	5,5	8,2	13	15,7	17,5	20,4	22	18,9	15,1	11,3	6,8	5,5	13,3
39	LA RIOJA	5,6	8,8	13,7	16,6	19,2	21,4	23,3	20,8	16,2	10,7	6,8	4,8	14
40	SALAMANCA	6,1	9,5	13,5	17,1	19,7	22,8	24,6	22,6	17,5	11,3	7,4	5,2	14,8
41	STA. C. DE TENERIFE	10,7	13,3	18,1	21,5	25,7	26,5	29,3	26,6	21,2	16,2	10,8	9,3	19,1
42	SEGOVIA	5,7	8,8	13,4	18,4	20,4	22,6	25,7	24,9	18,8	11,4	6,8	5,1	15,2
43	SEVILLA	7,3	10,9	14,4	19,2	22,4	24,3	24,9	23	17,9	12,3	8,8	6,9	16
44	SORIA	5,9	8,7	12,8	17,1	19,7	21,8	24,1	22,3	17,5	11,1	7,6	5,6	14,5
45	TARRAGONA	7,3	10,7	14,9	17,6	20,2	22,5	23,8	20,5	16,4	12,3	8,8	6,3	15,1
46	TERUEL	6,1	8,8	12,9	16,7	18,4	20,6	21,8	20,7	16,9	11	7,1	5,3	13,9
47	TOLEDO	6,2	9,5	14	19,3	21	24,4	27,2	24,5	18,1	11,9	7,6	5,6	15,8
48	VALENCIA	7,6	10,6	14,9	18,1	20,6	22,8	23,8	20,7	16,7	12	8,7	6,6	15,3
49	VALLADOLID	5,5	8,8	13,9	17,2	19,9	22,6	25,1	23	18,3	11,2	6,9	4,2	14,7
50	VIZCAYA	5	7,1	10,8	12,7	15,5	16,7	17,9	15,7	13,1	9,3	6	4,6	11,2
51	ZAMORA	5,4	8,9	13,2	17,3	22,2	21,6	23,5	22	17,2	11,1	6,7	4,6	14,5
52	ZARAGOZA	6,3	9,8	15,2	18,3	21,8	24,2	25,1	23,4	18,3	12,1	7,4	5,7	15,6

Temperatura media ambiente durante las horas de sol, ° C.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	7	7	11	12	15	19	21	21	19	15	10	7	13,7
2 ALBACETE	6	8	11	13	17	22	26	26	22	16	11	7	15,4
3 ALICANTE	13	14	16	18	21	25	28	28	26	21	17	14	20,1
4 ALMERÍA	15	15	16	18	21	24	27	28	26	22	18	16	20,5
5 ASTURIAS	9	10	11	12	15	18	20	20	19	16	12	10	14,3
6 ÁVILA	4	5	8	11	14	18	22	22	18	13	8	5	12,3
7 BADAJOZ	11	12	15	17	20	25	28	28	25	20	15	11	18,9
8 BALEARES	12	13	14	17	19	23	26	27	25	20	16	14	18,8
9 BARCELONA	11	12	14	17	20	24	26	26	24	20	16	12	18,5
10 BURGOS	5	6	9	11	14	18	21	21	18	13	9	5	12,5
11 CÁCERES	10	11	14	16	19	25	28	28	25	19	14	10	18,3
12 CÁDIZ	13	15	17	19	21	24	27	27	25	22	18	15	20,3
13 CANTABRIA	11	11	14	14	16	19	21	21	20	17	14	12	15,8
14 CASTELLÓN	13	13	15	17	20	24	26	27	25	21	16	13	19,2
15 CEUTA	15	15	16	17	19	23	25	26	24	21	18	16	19,6
16 CIUDAD REAL	7	9	12	15	18	23	28	27	20	17	11	8	16,3
17 CÓRDOBA	11	13	16	18	21	26	30	30	26	21	16	12	20
18 LA CORUÑA	12	12	14	14	16	19	20	21	20	17	14	12	15,9
19 CUENCA	5	6	9	12	15	20	24	23	20	14	9	6	13,6
20 GERONA	9	10	13	15	19	23	26	25	23	18	13	10	17
21 GRANADA	9	10	13	16	18	24	27	27	24	18	13	9	17,3
22 GUADALAJARA	7	8	12	14	18	22	26	26	22	16	10	8	15,8
23 GUIPÚZCOA	10	10	13	14	16	19	21	21	20	17	13	10	15,3
24 HUELVA	13	14	16	20	21	24	27	27	25	21	17	14	19,9
25 HUESCA	7	8	12	15	18	22	25	25	21	16	11	7	15,6
26 JAÉN	11	11	14	17	21	26	30	29	25	19	15	10	19
26 JAÉN	11	11	14	17	21	26	30	29	25	19	15	10	19
27 LEÓN	5	6	10	12	15	19	22	22	19	14	9	6	13,3
28 LÉRIDA	7	10	14	15	21	24	27	27	23	18	11	8	17,1
29 LUGO	8	9	11	13	15	18	20	21	19	15	11	8	14
30 MADRID	6	8	11	13	18	23	28	26	21	15	11	7	15,6
31 MÁLAGA	15	15	17	19	21	25	27	28	26	22	18	15	20,7
32 MELILLA	15	15	16	18	21	25	27	28	26	22	18	16	20,6
33 MURCIA	12	12	15	17	21	25	28	28	25	20	16	12	19,3
34 NAVARRA	7	7	11	13	16	20	22	23	20	15	10	8	14,3
35 ORENSE	9	9	13	15	18	21	24	23	21	16	12	9	15,8
36 PALENCIA	5	7	10	13	16	20	23	23	20	14	9	6	13,8
37 LAS PALMAS	20	20	21	22	23	24	25	25	26	25	23	21	22,9
38 PONTEVEDRA	11	12	14	16	18	20	22	23	20	17	14	12	16,6
39 LA RIOJA	7	9	12	14	17	21	24	24	21	16	11	8	15,3
40 SALAMANCA	6	7	10	13	16	20	24	23	20	14	9	6	14
41 STA. C. DE TENERIFE	19	20	20	21	22	24	26	27	26	25	23	20	22,8
42 SEGOVIA	4	6	10	12	15	20	24	23	20	14	9	5	13,5
43 SEVILLA	11	13	14	17	21	25	29	29	24	20	16	12	19,3
44 SORIA	4	6	9	11	14	19	22	22	18	13	8	5	12,6
45 TARRAGONA	11	12	14	16	19	22	25	26	23	20	15	12	17,9
46 TERUEL	5	6	9	12	16	20	23	24	19	14	9	6	13,6
47 TOLEDO	8	9	13	15	19	24	28	27	23	17	12	8	16,9
48 VALENCIA	12	13	15	17	20	23	26	27	24	20	16	13	18,8
49 VALLADOLID	4	6	9	12	17	21	24	23	18	13	8	4	13,3
50 VIZCAYA	10	11	12	13	16	20	22	22	20	16	13	10	15,4
51 ZAMORA	6	7	11	13	16	21	24	23	20	15	10	6	14,3
52 ZARAGOZA	8	10	13	16	19	23	26	26	23	17	12	9	16,8

Altitud, latitud, longitud y temperatura mínimas (la más baja que se haya medido desde el primer año del que se conservan registros de datos).

PROVINCIA	ALTITUD (m) (de la capital)	LATITUD (°) (de la capital)	LONGITUD (°) (de la capital)	TEMP. MÍNIM. HISTÓRICA (°C)
1 ÁLAVA	542	42,9	2,7 W	-18
2 ALBACETE	686	39,0	1,8 W	-23
3 ALICANTE	7	38,4	0,5 W	-5
4 ALMERÍA	65	36,9	2,4 W	-1
5 ASTURIAS	232	43,4	5,8 W	-11
6 ÁVILA	1126	40,7	4,9 W	-21
7 BADAJOZ	186	38,9	7,0 W	-6
8 BALEARES	28	39,6	2,6 E	-4
9 BARCELONA	95	41,4	2,2 E	-7
10 BURGOS	929	42,3	3,7 W	-18
11 CÁCERES	459	39,5	6,4 W	-6
12 CÁDIZ	28	36,5	6,3 W	-2
13 CANTABRIA	69	43,5	3,8 W	-4
14 CASTELLÓN	27	40,0	0	-8
15 CEUTA	206	35,9	5,3 W	-1
16 CIUDAD REAL	628	39,0	3,9 W	-10
17 CÓRDOBA	128	37,9	4,8 W	-6
18 LA CORUÑA	54	43,4	8,4 W	-9
19 CUENCA	949	40,1	2,1 W	-21
20 GERONA	95	42,0	2,7 E	-11
21 GRANADA	775	37,2	3,7 W	-13
22 GUADALAJARA	685	40,6	3,2 W	-14
23 GUIPÚZCOA	181	43,3	2,0 W	-12
24 HUELVA	4	37,3	6,9 W	-6
25 HUESCA	488	42,1	0,4 W	-14
27 LEÓN	908	42,6	5,6 W	-18
28 LÉRIDA	323	41,7	1,2 E	-11
29 LUGO	465	43,0	7,6 W	-8
30 MADRID	667	40,4	3,7 W	-16
31 MÁLAGA	40	36,7	4,4 W	-4
32 MELILLA	47	35,3	3,0 W	-1
33 MURCIA	42	38,0	1,1 W	-5
34 NAVARRA	449	42,8	1,6 W	-16
35 ORENSE	139	42,3	7,8 W	-8
36 PALENCIA	734	42,0	4,5 W	-14
37 LAS PALMAS	6	28,2	15,4 W	+6
38 PONTEVEDRA	19	42,4	8,6 W	-4
39 LA RIOJA	380	42,5	2,4 W	-12
40 SALAMANCA	803	41,0	5,6 W	-16
41 STA. CRUZ DE TENERIFE	37	28,5	16,2 W	+3
42 SEGOVIA	1002	41,0	4,1 W	-17
43 SEVILLA	30	37,4	6,0 W	-6
44 SORIA	1063	41,8	2,5 W	-16
45 TARRAGONA	60	41,1	1,2 E	-7
46 TERUEL	915	40,4	1,1 W	-14
47 TOLEDO	540	39,9	4,0 W	-9
48 VALENCIA	10	39,5	0,4 W	-8
49 VALLADOLID	694	41,7	4,7 W	-16
50 VIZCAYA	32	43,3	3,0 W	-8
51 ZAMORA	649	41,5	5,7 W	-14
52 ZARAGOZA	200	41,7	0,9 W	-11

Tablas de referencia del CTE para el cálculo de las pérdidas por sombra (Anexo B del CTE).

Tabla B.1

	$\beta=35^\circ; \alpha=0^\circ$				$\beta=0^\circ; \alpha=0^\circ$				$\beta=90^\circ; \alpha=0^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,01	0,12	0,44	0,00	0,01	0,18	1,05	0,00	0,01	0,02	0,15	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,13	0,41	0,62	1,49	0,05	0,32	0,70	2,23	0,23	0,50	0,37	0,10	0,02	0,10	0,19	0,56
7	1,00	0,95	1,27	2,76	0,52	0,77	1,32	3,56	1,66	1,06	0,93	0,78	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,64	1,50	1,83	3,87	1,11	1,26	1,85	4,66	2,76	1,62	1,43	1,68	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,70	1,88	2,21	4,67	1,75	1,60	2,20	5,44	3,83	2,00	1,77	2,36	2,24	1,60	1,92	4,14
1	3,17	2,12	2,43	5,04	2,10	1,81	2,40	5,76	4,36	2,23	1,98	2,69	2,69	1,98	2,31	4,67
2	3,17	2,12	2,33	4,99	2,11	1,80	2,30	5,73	4,40	2,23	1,91	2,66	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,70	1,89	2,01	4,46	1,75	1,61	2,00	5,19	3,82	2,01	1,62	2,26	2,93	2,08	2,23	5,02
6	1,79	1,51	1,65	3,63	1,09	1,26	1,65	4,37	2,68	1,62	1,30	1,58	2,14	1,62	2,00	4,46
8	0,96	0,99	1,06	2,55	0,51	0,82	1,11	3,26	1,62	1,09	0,79	0,74	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,11	0,42	0,52	1,33	0,05	0,33	0,57	1,98	0,19	0,49	0,32	0,10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,02	0,10	0,40	0,00	0,02	0,15	0,96	0,00	0,02	0,02	0,13	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla B.2

	$\beta=90^\circ; \alpha=30^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=60^\circ$				$\beta=90^\circ; \alpha=60^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=-30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,06	0,01	0,15	0,51	0,00	0,00	0,08	0,16	0,00	0,01	0,27	0,78	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,56	0,06	0,14	0,43	0,02	0,04	0,04	0,02	0,09	0,21	0,33	0,76	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,80	0,04	0,07	0,31	0,02	0,13	0,31	1,02	0,21	0,18	0,27	0,70	1,34	1,26	1,73	3,79
5	3,06	0,55	0,22	0,11	0,64	0,68	0,97	2,39	0,10	0,11	0,21	0,52	2,17	1,79	2,21	4,70
3	4,14	1,16	0,87	0,67	1,55	1,24	1,59	3,70	0,45	0,03	0,05	0,25	2,90	2,05	2,43	5,20
1	4,87	1,73	1,49	1,66	2,35	1,74	2,12	4,73	1,73	0,80	0,62	0,55	3,12	2,13	2,47	5,20
2	5,20	2,15	1,88	2,79	2,85	2,05	2,38	5,40	2,91	1,56	1,42	2,26	2,88	1,96	2,19	4,77
4	5,02	2,34	2,02	3,29	2,86	2,14	2,37	5,53	3,59	2,13	1,97	3,60	2,22	1,60	1,73	3,91
6	4,46	2,26	2,05	3,36	2,24	2,00	2,27	5,25	3,35	2,43	2,37	4,45	1,27	1,11	1,25	2,64
8	3,54	1,92	1,71	2,98	1,51	1,61	1,81	4,49	2,67	2,35	2,28	4,65	0,52	0,57	0,65	1,64
10	2,26	1,19	1,19	2,12	0,23	0,94	1,20	3,18	0,47	1,64	1,82	3,95	0,02	0,10	0,15	0,50
12	1,17	0,12	0,53	1,22	0,00	0,09	0,52	1,96	0,00	0,19	0,97	2,93	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,22	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,08

Tabla B.3

	$\beta=90^\circ; \alpha=-30^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=-60^\circ$				$\beta=90^\circ; \alpha=-60^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,05	0,60	1,28	0,00	0,04	0,60	2,09	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,43	1,17	1,38	2,30	0,27	0,91	1,42	3,49	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,42	1,82	1,98	3,15	1,51	1,51	2,10	4,76	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,43	2,24	2,24	3,51	2,25	1,95	2,48	5,48	3,36	2,37	2,56	4,61
3	4,12	2,29	2,18	3,38	2,80	2,08	2,56	5,68	3,49	2,06	2,10	3,67
1	4,05	2,11	1,93	2,77	2,78	2,01	2,43	5,34	2,81	1,52	1,44	2,22
2	3,45	1,71	1,41	1,81	2,32	1,70	2,00	4,59	1,69	0,78	0,58	0,53
4	2,43	1,14	0,79	0,64	1,52	1,22	1,42	3,46	0,44	0,03	0,05	0,24
6	1,24	0,54	0,20	0,11	0,62	0,67	0,85	2,20	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,40	0,03	0,06	0,31	0,02	0,14	0,26	0,92	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,01	0,06	0,12	0,39	0,02	0,04	0,03	0,02	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,01	0,13	0,45	0,00	0,01	0,07	0,14	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,36

Tabla con el factor de corrección k para superficies inclinadas.

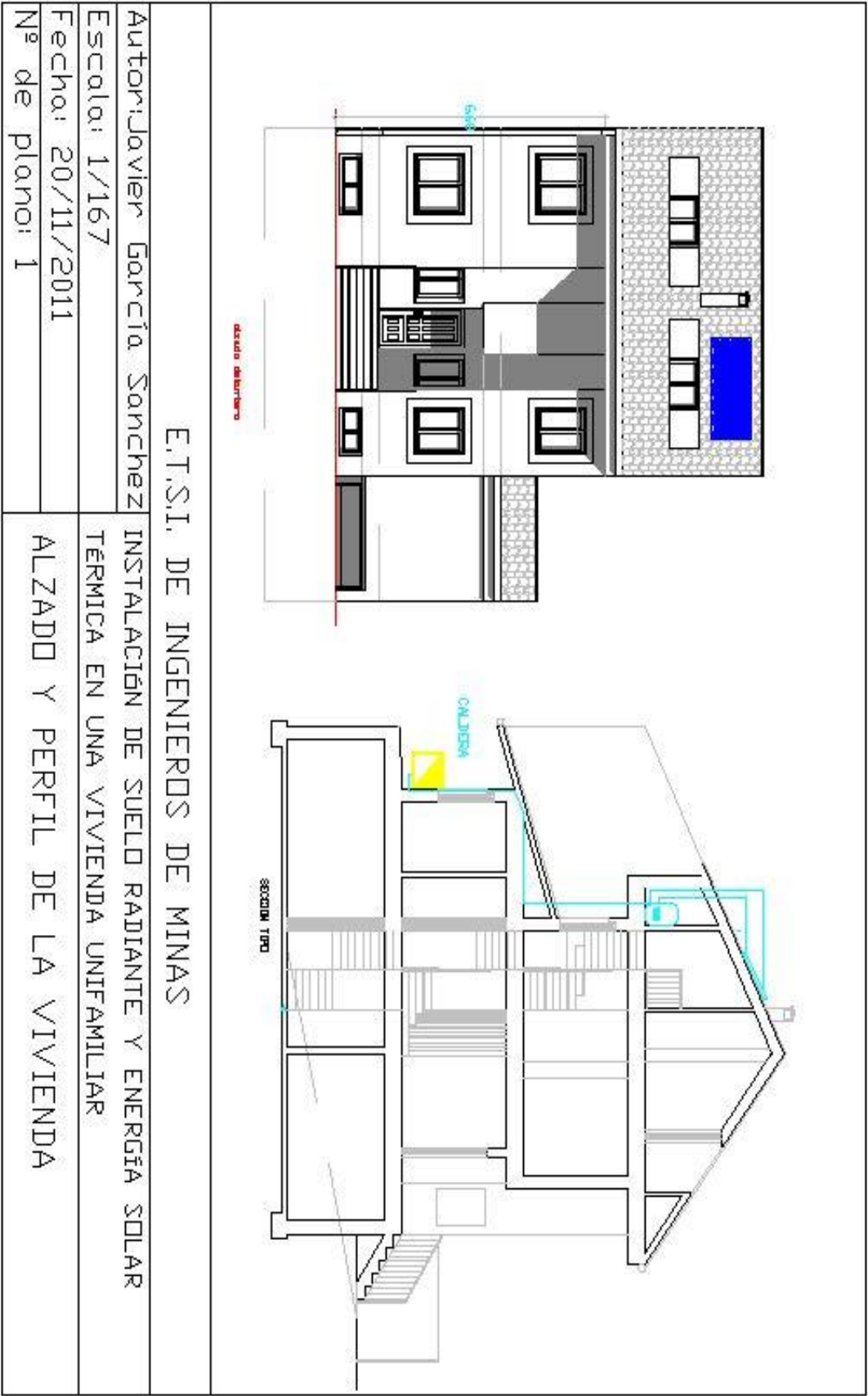
LATITUD = 41°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,07	1,06	1,05	1,03	1,02	1,02	1,02	1,03	1,05	1,08	1,09	1,09
10	1,14	1,12	1,09	1,06	1,03	1,02	1,03	1,06	1,1	1,15	1,18	1,17
15	1,21	1,17	1,12	1,07	1,04	1,03	1,04	1,08	1,14	1,21	1,26	1,24
20	1,26	1,21	1,15	1,08	1,04	1,02	1,04	1,09	1,17	1,27	1,33	1,31
25	1,31	1,24	1,17	1,09	1,03	1,01	1,03	1,1	1,2	1,32	1,39	1,37
30	1,35	1,27	1,18	1,08	1,01	0,99	1,02	1,09	1,21	1,35	1,44	1,42
35	1,38	1,29	1,18	1,07	0,99	0,96	0,99	1,08	1,22	1,38	1,49	1,47
40	1,4	1,3	1,18	1,05	0,96	0,93	0,96	1,06	1,22	1,4	1,52	1,5
45	1,42	1,3	1,16	1,03	0,93	0,89	0,93	1,04	1,21	1,41	1,55	1,52
50	1,42	1,3	1,14	0,99	0,88	0,84	0,88	1,01	1,19	1,41	1,56	1,54
55	1,42	1,28	1,12	0,95	0,83	0,79	0,84	0,97	1,17	1,41	1,57	1,54
60	1,41	1,26	1,08	0,91	0,78	0,73	0,78	0,92	1,14	1,39	1,56	1,54
65	1,39	1,23	1,04	0,85	0,72	0,67	0,72	0,87	1,09	1,36	1,54	1,53
70	1,36	1,19	0,99	0,8	0,66	0,61	0,66	0,81	1,04	1,32	1,52	1,5
75	1,32	1,15	0,94	0,73	0,59	0,54	0,59	0,74	0,99	1,28	1,48	1,47
80	1,28	1,1	0,88	0,67	0,52	0,46	0,52	0,67	0,93	1,23	1,44	1,43
85	1,23	1,04	0,82	0,6	0,44	0,39	0,44	0,6	0,86	1,16	1,38	1,38
90	1,17	0,98	0,74	0,52	0,36	0,31	0,36	0,52	0,78	1,09	1,32	1,32

**INSTALACIÓN DE SUELO  
RADIANTE Y ENERGÍA  
SOLAR TÉRMICA EN UNA  
VIVIENDA UNIFAMILIAR.**

**DOCUMENTO N º5: PLANOS**

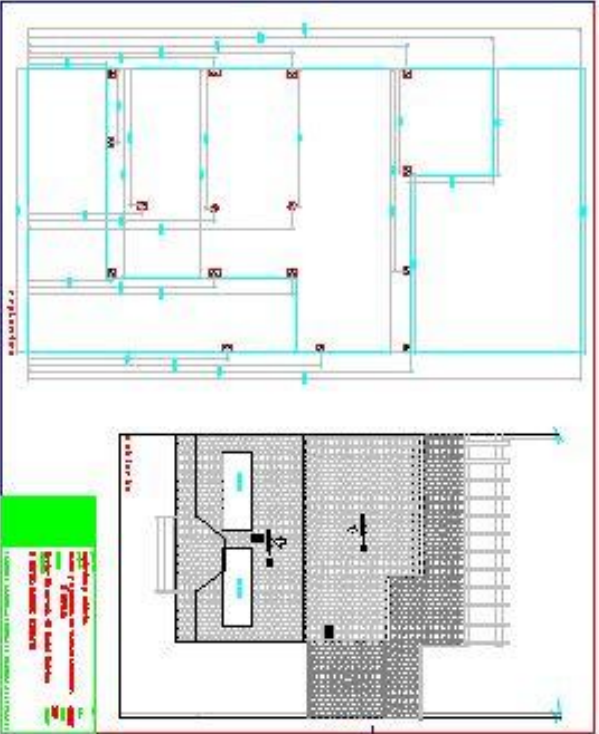

1. PLANO I : ALZADO Y PERFIL DE LA VIVIENDA





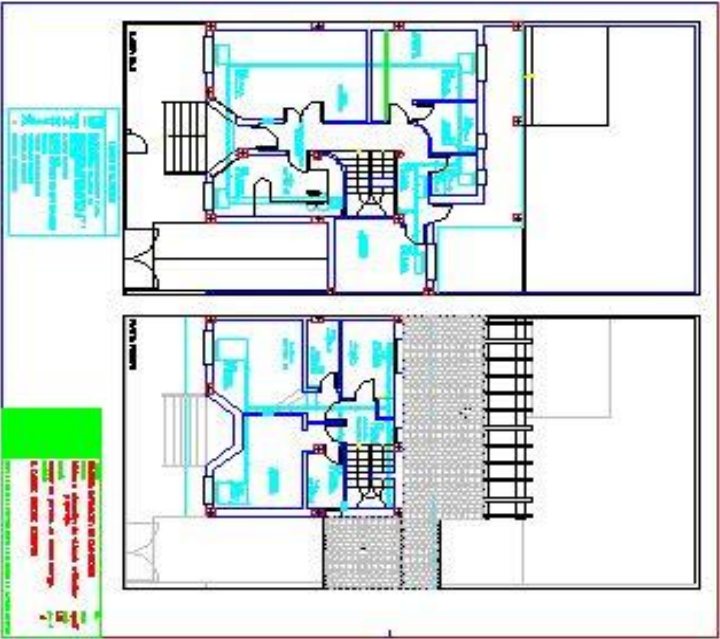
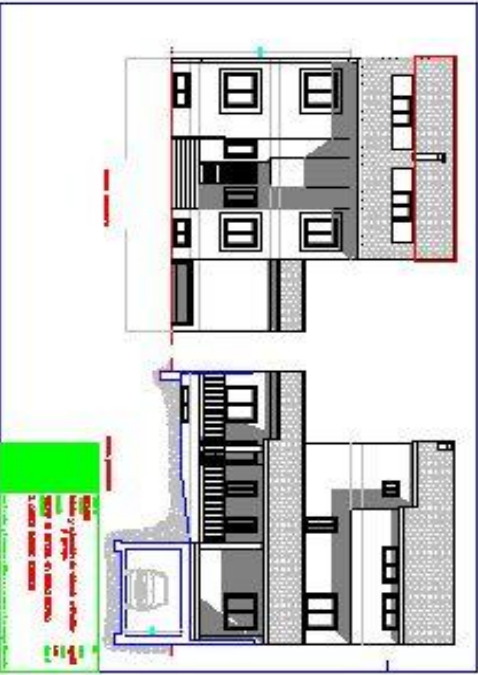
2. PLANO II : PLANTAS DE LA VIVIENDA (1)

E.T.S.I. DE INGENIEROS DE MINAS	
Auton Javier García Sánchez	INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE Y ENERGÍA SOLAR
Escala: 1/167	TÉRMINICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR
Fecha: 20/11/2011	PLANTAS DE LA VIVIENDA (1)
Nº de plano: 2	



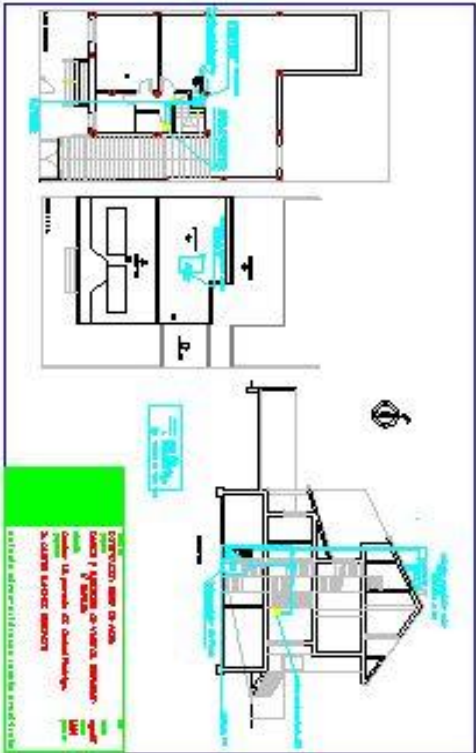
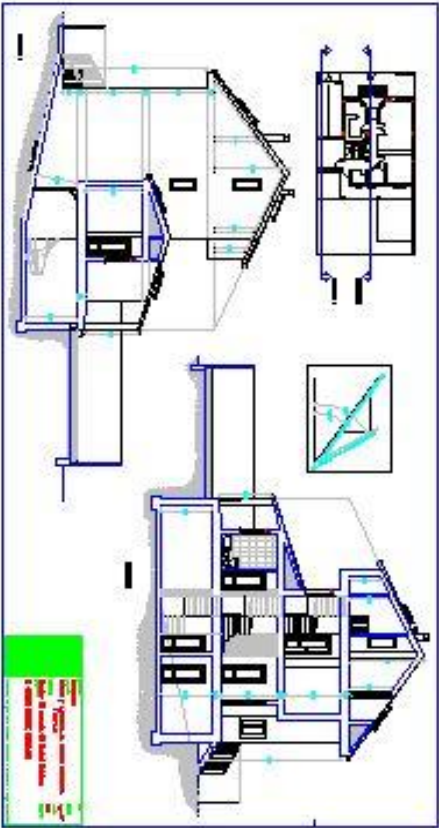
3. PLANO III : PLANTAS DE LA VIVIENDA (2)

E.T.S.I. DE INGENIEROS DE MINAS	
Auton Javier García Sánchez	INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE Y ENERGÍA SOLAR
Escala: 1/167	TÉRMINICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR
Fecha: 20/11/2011	PLANTAS DE LA VIVIENDA (2)
Nº de plano: 3	



4. PLANO IV : PLANTAS DE LA VIVIENDA (3)

<p>E.T.S.I. DE INGENIEROS DE MINAS</p>	
<p>Auton Javier García Sanchez</p>	<p>INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE Y ENERGÍA SOLAR</p>
<p>Escala: 1/167</p>	<p>TÉRMINICA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR</p>
<p>Fecha: 20/11/2011</p>	<p>PLANTAS DE LA VIVIENDA (3)</p>
<p>Nº de plano: 4</p>	



5. PLANO V: DISTRIBUCIÓN DEL SUELO RADIANTE

